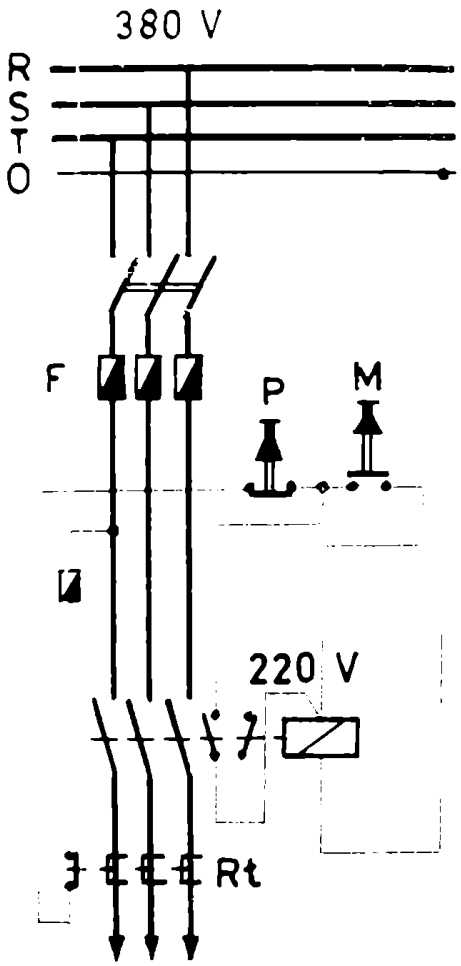


ESQUEMAS ELECTRICOS INDUSTRIALES

I

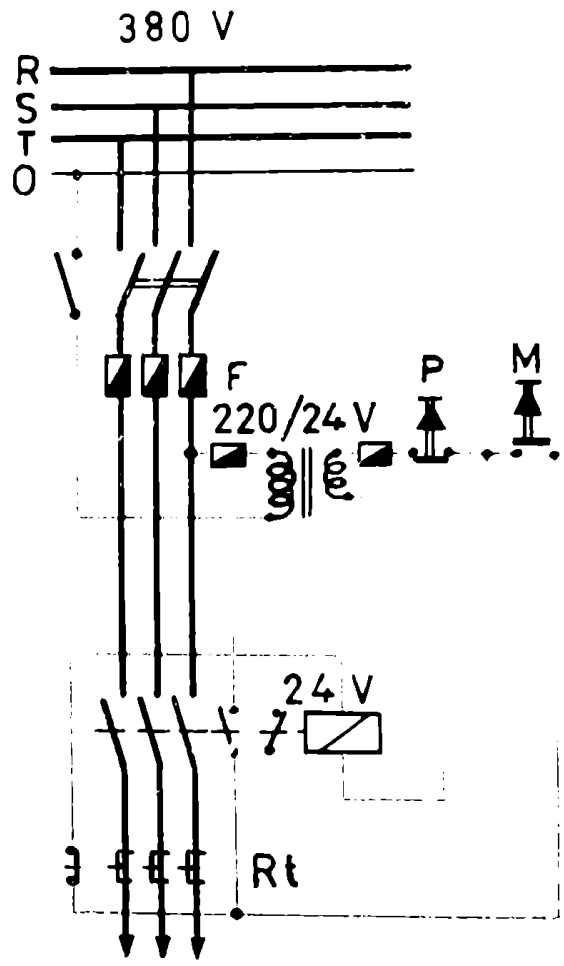
DE TRABAJO Y MANDO
DE
MOTORES ASINCRONICOS
TRIFASICOS

★

AUTOMATIZACION
DE CIRCUITOS INDUSTRIALES

★

PABLO MARCO SANCHO
Perito Industrial



ESQUEMAS ELECTRICOS INDUSTRIALES

2.ª EDICION

ESQUEMAS ELECTRICOS INDUSTRIALES

DE TRABAJO Y DE MANDO DE MOTORES ASINCRONICOS TRIFASICOS

AUTOMATIZACION DE CIRCUITOS INDUSTRIALES

por

PABLO MARCO SANCHO

PERITO INDUSTRIAL

ZARAGOZA, 1975

© PABLO MARCO SANCHO

Primera edición, 1972

Segunda edición, 1975

El autor hace patente la colaboración y su agradecimiento por la aportación de datos y catálogos a las firmas siguientes:

A «Comercial y Fabril Aper», S. A., por su atención en aportar material informativo sobre los fabricados, datos y esquemas, así como el folleto del cursillo de iniciación al automatismo industrial de Starkstrom.

A la firma «Agut», S. A., por su atención desinteresada igualmente, por su aportación de su catálogo 65, del relé diferencial RIK y del arrancador por relés de tensión variable RTV.

ISBN: 84 - 400 - 8391 - 2

Depósito legal: Z. 165 - 75

PRINTED IN SPAIN

IMPRESO EN ESPAÑA

SAN FRANCISCO, S.A.E. de Artes Gráficas - Cervantes, 36-38 - ZARAGOZA

INTRODUCCION

Esta obra va dirigida, en general, a toda persona relacionada con la electricidad, y aun a todos aquellos que profesionalmente pertenecen a otras ramas, en donde encontrarán aplicación a sus problemas prácticos y de información, o bien deseen conocer el automatismo desde el punto de vista práctico.

Es aplicada a estudiantes de las escuelas de aprendizaje, maestría industrial, escuelas de ingenieros técnicos, electricistas instaladores, y para todo aquel que le guste el automatismo de máquinas eléctricas.

Consta de un número muy extenso de esquemas, orientados prácticamente a la iniciación del automatismo de motores empezando por los elementos más esenciales, como son el contactor y los relés térmicos, así como otros relés de protección. La importancia de estos aparatos se verá en cada uno de los distintos esquemas que forman parte de esta obra, como son la puesta en marcha de cualquier motor eléctrico trifásico asincrónico, en enclavamientos eléctricos entre motores, en inversión del sentido de giro de los motores, en diferentes tipos de arranque de motores (en especial en el estrella-triángulo), en el cambio de velocidad por contactores, en múltiples accionamientos electromecánicos, en el arranque por eliminación de resistencias rotóricas y estatóricas, etc., sencillamente representados en multitud de esquemas; en ellos pueden seguirse claramente los circuitos de carga o de trabajo, siempre en negro, y los de mando o auxiliares, en color rojo; de esta forma el lector, el estudiante y cualquier persona que posea la obra encontrará en ella una facilidad de estudio, una asimilación completa y técnico-práctica, perfeccionándose en su profesión; además, en el texto que acompaña cada esquema se describe la composición del mismo, todo su funcionamiento y aplicaciones, con numerosos casos prácticos, datos y fórmulas, siempre con claridad, sin necesitar grandes conocimientos teórico-matemáticos.

Está dividida la obra en cinco capítulos, en los que se agrupan elementos, esquemas, circuitos que tienen alguna relación entre sí; algunas fórmulas y tablas pueden ayudar a aclarar conceptos, así como a resolver problemas de automatización práctica que se presenten en el estudio, en los proyectos, en el taller y en la industria.

INDICE

CAPITULO PRIMERO

Circuitos de trabajo y mando sobre el empleo de contactores y relés de protección y maniobra. Treinta esquemas

Esquema núm.		Página
1.	Mecanismo de un contactor	40
2.	Esquema de mando de un contactor	42
3.	Contactor con dos mandos a distancia	44
4.	Mando de un contactor a distancia	46
5.	Contactor con pilotos de señalización	48
6.	Enclavamiento de dos motores	50
7.	Esquema de tres motores enclavados	52
8.	Motores enclavados	54
9.	Esquema formado por tres contactores	56
10.	Esquema de mando múltiple de un motor .	58
11.	Instalación de dos motores y un mando ...	60
12.	Tensión de mando en los contactores	62
13.	Protección de un motor	64
14.	Relé térmico de protección	66
15.	Protección con relé magnetotérmico	68
16.	Relé temporizado (I)	70
16.	Relé térmico temporizado (II)	72
16.	Relés temporizados	73
17.	Relé; aplicaciones (I)	75
17.	Instalación de anuncio temporizado (II) ...	76
17.	Circuito de señalización (III)	77
18.	Reloj temporizador	78
19.	Temporizador en un circuito	80
20.	Parada del receptor con temporizador	82
21.	Mando por temporizador	84
22.	Equipo electrónico fotoeléctrico	86
23.	Protección de relés con arranques fuertes.	88
24.	Circuito de maniobra y diagrama de tiempos	90
25.	Circuito de maniobra y diagrama de tiempos	92
26.	Circuito de maniobra y diagrama de tiempos	94

CAPITULO II

Elementos y sistemas empleados en los motores para conseguir el cambio de sentido de rotación. Doce esquemas

Esquema núm.		Página
27.	Inversión del sentido de rotación	98
28.	Inversor de giro rotativo	100
29.	Inversión del sentido de rotación	102
30.	Esquema de mando para inversión	104
31.	Esquema de mando para un motor	106
32.	Instalación cambio giro de un motor	108
33.	Contactores de inversión de giro	110
34.	Esquema con mando de inversión	112
35.	Inversor con finales de carrera	114
36.	Inversor ICTAR (DWLSM)	116
37.	Esquemas de mando de inversión ICTAR ...	118
38.	Arrancador inversor a resistencia estatórica	120

CAPITULO III

Sistemas de arranque de motores asincrónicos empleando reostatos de arranque, contactores estrella triángulo, estrella triángulo manuales, de palanca y rotativos, por eliminación de resistencias en el estator, por autotransformador de tensión, por eliminación de resistencias en el rotor.

Veintitrés esquemas

Esquema núm.		Página
39.	Arranque con reóstato	128
40.	Arranque con reóstato y final de carrera .	130
41.	Arranque de motor asincrónico con reóstato	132
42.	Arranque estrella triángulo con palanca ...	134
43.	Interruptor rotativo estrella triángulo	136
44.	Conmutador rotativo estrella triángulo	138
45.	Arrancador estrella triángulo	140
46.	Esquema de mando estrella triángulo	142
47.	Conmutador estrella triángulo	144
48.	Esquema de mando estrella triángulo	146
49.	Arrancador inversor estrella triángulo	148
50.	Arranque por eliminación de resistencias .	150
51.	Arranque de un motor asincrónico	152
52.	Arranque por eliminación de resistencias ...	154
53.	Arranque por temporizador	156
54.	Arranque automático temporizado	158
55.	Arranque por resistencias escalonadas	160
56.	Arrancador de resistencias a relé de tensión variable	162
57.	Arranque por varios procedimientos	164
58.	Arrancador automático rotórico	166
59.	Arranque de un motor por autotransformador	168
60.	Arrancador inversor de motor por autotransformador	170
61.	Circuito de mando arrancador inversor por autotransformador	172

CAPITULO IV

Motores de dos velocidades por conmutación de polos en conexión Dahlander, por dos arrollamientos y motores de tres y cuatro velocidades con dos arrollamientos y conexión Dahlander.
Trece esquemas

Esquema núm.		Página
62.	Conmutador de polos dos velocidades	176
63.	Esquema de dos velocidades	178
64.	Arrancador dos velocidades conexión Dahlander	180
65.	Conmutador de polos Dahlander	182
66.	Esquema de mando conmutador de polos Dahlander	184
67.	Motor dos velocidades conexión Dahlander .	186
68.	Motor de dos velocidades y dos arrollamientos	188
69.	Esquema de trabajo de un motor tres velocidades	190
70.	Esquema circuito mando motor tres velocidades	192
71.	Ciclo automático motor tres velocidades. Potencia	194
72.	Ciclo automático motor tres velocidades. Mando	196
73.	Arrancador inversor motor cuatro velocidades	198
74.	Esquema de mando arrancador inversor motor cuatro velocidades	200

CAPITULO V

Varios circuitos de instalaciones de condensadores para corregir el factor de potencia, instalación de compuertas, mariposas, áridos, máquinas herramientas, etcétera.
Diecisiete esquemas

Esquema núm.		Página
75.	Conexión de un condensador fijo	214
76.	Conexión de un condensador con contactor	216
77.	Instalación automática de condensadores ...	218
78.	Instalación automática de puertas	220
79.	Automatismo de elementos mecánicos	222
80.	Accionamiento de compuerta, mariposa, etc.	224
81.	Instalación de apertura y cierre de una válvula	226
82.	Esquema de un ascensor	228
83.	Mando automático de una compuerta y motor	230
84.	Accionamiento regulado de una mariposa ...	232
85.	Apertura y cierre señalizado de una compuerta	234
86.	Llenado y vaciado automático de áridos ...	236
87.	Mando local y a distancia de un motor	238
88.	Extracción automática de silos y tolvas ...	240
89.	Esquema de una máquina herramienta	242
90.	Esquema de funcionamiento de una fresadora	244
91.	Freno eléctrico	246

SIMBOLOS MAS UTILIZADOS

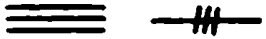
Signo positivo, corriente continua.

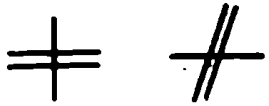
Signo negativo, corriente continua.

Signo de toda corriente continua.

Signo de toda clase de corriente alterna.

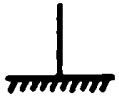
Línea de dos conductores.


Línea de tres conductores.

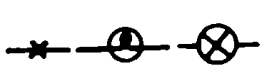

Conductores que se cortan sin contacto alguno.

Conductores que se cruzan con contacto eléctrico.

Línea unifilar.


Conductor unido a tierra.

Fusible de protección de cortocircuitos.


Lámparas, piloto señalización, foco luminoso.

Lámpara de descarga.

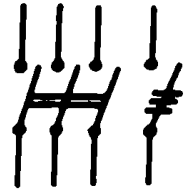
Interruptor unipolar o llave.

Conmutador de dos posiciones.

Interruptor bipolar.

Conmutador bipolar, inversor.

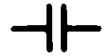
Disyuntor automático.

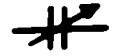

Interruptor trifásico.

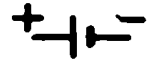
Interruptor o micro basculante de mercurio.

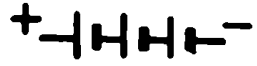
Interruptor trifásico en baño de aceite.

Electrobomba.


Condensador fijo.


Condensador variable.


Pila eléctrica, acumulador.


Batería de pilas o acumuladores.

Rectificador de corriente alterna en corriente continua.

Contador eléctrico.

Amperímetro.

Voltímetro.

Watímetro.

Fasímetro o cosfímetro.

Frecuencímetro.

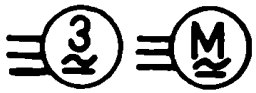
Generador de corriente.

Generador de corriente continua, dinamo.

Generador de corriente alterna, alternador.

Motor de corriente continua.

Motor de corriente alterna.

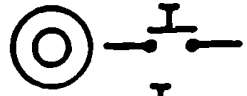


Motor de corriente alterna trifásico.

Motor de corriente alterna con rotor bobinado.

Enchufe monofásico, bifásico.

Enchufe trifásico.



Pulsador o botón.

Pulsador de conexión o de mando.

Pulsador de desconexión o de mando.

Pulsador doble circuito paro-marcha.

Final de carrera abierto.

Resistencia pura u óhmica.

Resistencia en general.

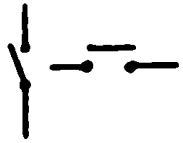
Resistencia inductiva, reactancia, autoinducción.

Resistencia regulable, potenciómetro.

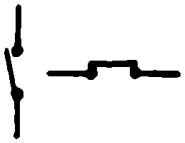
Timbre.

Timbre, zumbador.

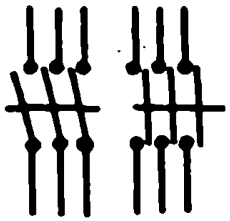
Bobina para contactores.



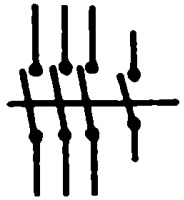
Contactos abiertos auxiliares de contactor en reposo.



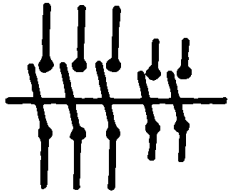
Contactos cerrados auxiliares de contactor en reposo.



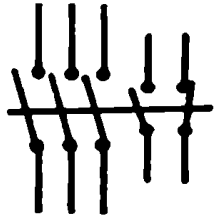
Contactor tripolar en reposo abierto.



Contactor tripolar con contacto auxiliar abierto.

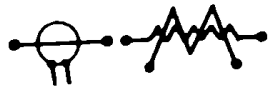


Contactor tripolar con dos contactos auxiliares abiertos.

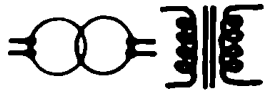


Contactor tripolar con dos contactos auxiliares, abierto y cerrado.

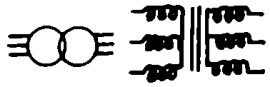
Transformador.



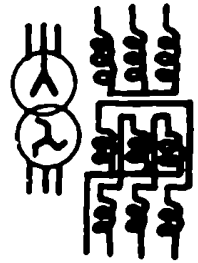
Transformador de intensidad.



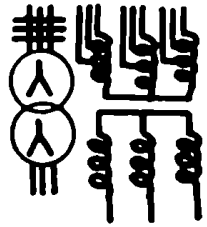
Transformador de tensión monofásico.



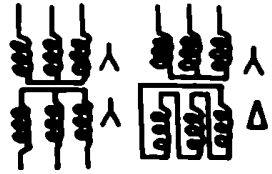
Transformador de tensión trifásico.



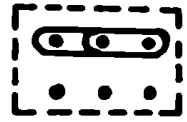
Transformador estrella-doble estrella, con neutro.



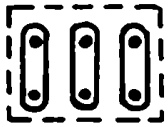
Transformador estrella-estrella, con regulación.



Transformadores estrella-estrella y estrella-triángulo.



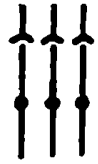
Placa de bornas conexión estrella.



Placa de bornas conexión triángulo.

Desconectador o seccionador monofásico.

Desconectador o seccionador bifásico

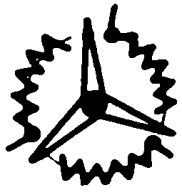


Desconectador o seccionador trifásico.

Explosor de cuernos.

Devanado en estrella.

Devanado en triángulo.



Reóstato de arranque motor asincrónico.

REGULACIONES NORMALIZADAS DE LOS RELES R I K DIFERENCIALES

Modelos	Tipos	Regulación	Fusibles	
			Lentos	Rápidos
RIK	RIK - 0'5	0'42 - 0'67	4	4
	RIK - 0'8	0'65 - 1'04	4	6
	RIK - 1'3	1 - 1'6	6	10
	RIK - 1'8	1'4 - 2'3	10	15
	RIK - 2'6	2 - 3'2	10	15
	RIK - 4	3 - 4'8	15	20
	RIK - 5'5	4'2 - 6'7	15	20
	RIK - 8'5	6'5 - 10'4	20	25
	RIK - 13	10 - 16	25	35
	RIK - 16	12'5 - 20	30	50
	RIK - 22	17 - 26	40	60
	RIK - 29	23 - 35	60	80
	RIK - 39	30 - 48	80	100
RIK2	RIK2- 50	42 - 67	100	125
	RIK2- 70	53 - 85	150	200
	RIK2-100	75 - 120	200	250
	RIK2-145	110 - 176	300	400
RIK3	Regulación hasta 2.600 A			

MEDIDAS DE TRABAJO Y POTENCIA. EQUIVALENCIAS

1 ergio	equivale a	una dina por un cm.
1 julio (j) ...	»	» 10.000.000 ergios = 10^7 ergios.
1 julio (j) ...	»	» 0'24 calorías gramo (cal-gr).
1 julio (j) ...	»	» un vatio segundo (w seg).
1 Kgrm	»	» 1 Kgr × 1 m = 9'81 julios.
1 Kgrm	»	» 1 Kgr × 1 m = 9'81 × 10^7 ergios.
1 Kgrm	»	» 1 Kgr × 1 m = 9'81 w seg.
1 Kcal	»	» 427 Kgrm = 427 × 9'81 = = 4.185 julios.
1 Kcal	»	» 1.000 calorías pequeñas.
1 cal gr	»	» 4'185 julios = 4'185 w seg.
1 cal gr	»	» 4'185 × 10^7 ergios.
1 w hora	»	» 1 w × 3.600 seg = 3.600 w seg.
1 w hora	»	» 1 w × 3.600 seg = 3.600 julios.

1 Kw	equivale a	1.000 w.
1 Kw hora ...	»	» 1.000 w × 3.600 seg = = 3.600.000 w seg.
1 Kw hora ...	»	» 1.000 w × 3.600 seg = = 3.600.000 julios.
1 Kw	»	» 102 Kgrm/seg.
1 w/seg	»	» 1 julio=0'24 calorías gramo.
1 Kw	»	» 1.000 × 0'24 = 240 calorías gramo.
1 Kw h	»	» 240 cal gr × 3.600 seg = = 864.000 cal gr
1 Kw h	»	» 864 Kcal.
1 Kw	»	» 1.000 w.
1 CV	»	» 736 w.
1 Kw	»	» 1.000:736 = 1'36 CV.
9'81 w seg ...	»	» 1 Kgrm.
1 w seg	»	» 0'102 Kgrm.
1 Kw seg	»	» 102 Kgrm.
1 CV	»	» 736 w = 736 × 0'102 = 75 Kgrm.

En Europa, y concretamente en España, la frecuencia con que trabajan los motores es de 50 períodos por segundo; por lo tanto, el tiempo de un período será 1/50 segundos.

La relación entre esta frecuencia, el número de pares de polos y la velocidad del motor existen una proporcionalidad según la fórmula

$$n = \frac{60 \cdot f}{P}, \quad \text{de donde} \quad f = \frac{P \times n}{60} \quad \text{y} \quad P = \frac{60\ f}{n},$$

siendo: f = 50 Hz períodos por segundo, p = pares de polos y n la velocidad en revoluciones por segundo (r. p. s.) del campo magnético giratorio, que arrastra el rotor, variando esta velocidad según el número de pares de polos y obteniendo velocidades sincrónicas diferentes. Ahora bien, la verdadera velocidad del motor asincrónico, no es la mencionada, sino la que resulta de restar a ésta el deslizamiento relativo entre el campo magnético giratorio y el rotor; así, para un deslizamiento del 6 por 100 la velocidad que un motor adquiere —en función del número de pares de polos— se ve en la tabla siguiente:

TABLA DE VELOCIDADES SINCRONICAS Y REALES PARA f = 50 Hz Y s = 6 POR 100

Pares de polos P ...	1	2	3	4	5	6
Velocidad sincrónica.	3.000	1.500	1.000	750	600	500
Velocidad real	2.820	1.410	940	705	564	470

Son muy empleados los cuatro primeros de 2.820, 1.410, 940 y 705 r. p. m., y son las que constan en los motores en su placa de características.

Un motor a 60 Hz, como son en América, con dos pares de polos, daría

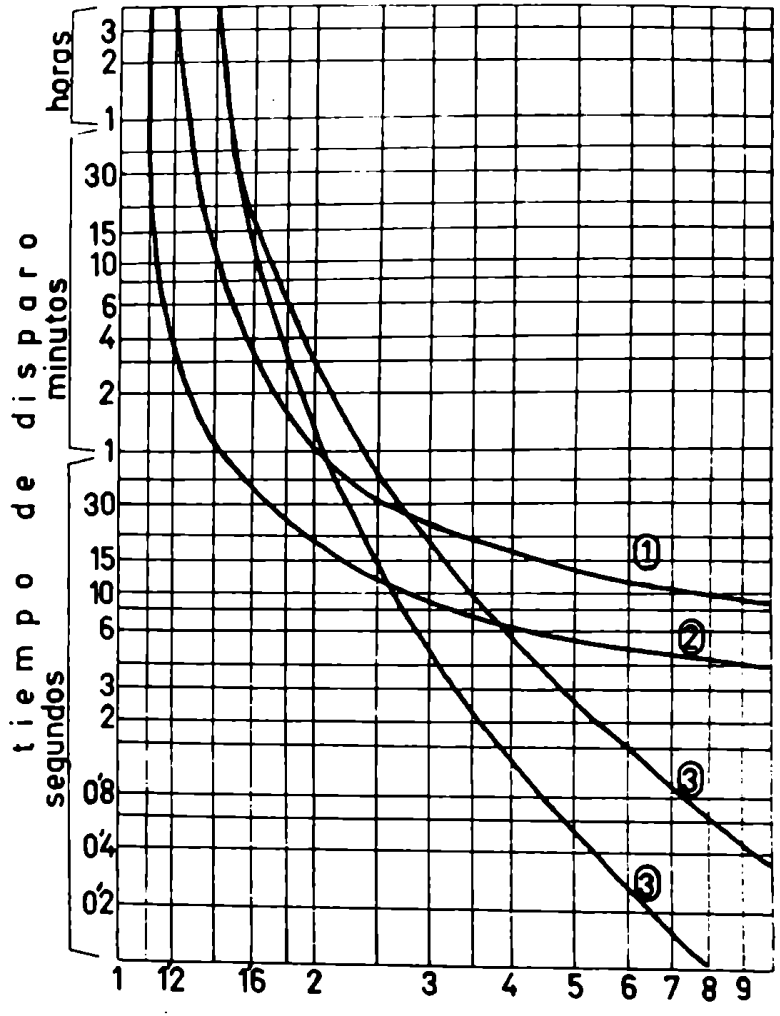
$$n = \frac{60 \times f}{P} = \frac{60 \times 60}{2} = 1.800 \text{ r. p. m.}$$

$1.800 - \frac{1.800 \times 6}{100} = 1.692$ r. p. m. reales, mientras que en España da 1.410 r. p. m.

EQUIVALENCIA ENTRE LA NUEVA DENOMINACION Y LA ANTIGUA PARA LOS DIFERENTES MONTAJES DE CONTACTORES DE LA MARCA STARKSTROM

Aparatos	Denominaciones	
	Actual	Antigua
Contactores	DLS	CTA
Contactores con relés térmicos	DLSM	CTAR
Conmutadores estrella triángulo, sin relés	SDLS	ETCTA
Conmutadores estrella triángulo, con relés	SDLSM	ETCTAR
Conmutadores estrella triángulo con inversión, sin relés	SDWLS	ETICTA
Conmutador estrella triángulo con inversión, con relés	SDWLSM	ETICTAR
Inversores, sin relés	DWLS	ICTA
Inversores, con relés	DWLSM	ICTAR
Conmutadores de polos, sin relés	DPULS	CPDCTA
Conmutadores de polos, con relés	DPULSM	CPDCTARR

TIEMPO MAXIMO DE SOBRECARGA DE UN MOTOR EN FUNCION DE LA SOBREINTENSIDAD



1 Tiempo límite de sobrecarga de un motor.
2 Tiempo de disparo del relé térmico.
3 Tiempo de fusión de fusibles.

TABLAS DE CARACTERISTICAS DE CONTACTORES STARKSTROM

Tipo	Intensidad permanente amperios	Potencia límite del motor, CV	
		220 v	380 v
6'41	6	2'2	4
6'41	6	2'2	4
6'43	6	2'2	4
10	10	3'5	5'5
16	16	6	10
25	25	10	17
30	30	12	20
40	40	15	27
60	63	24	41
100	100	38	68
200	200	80	136

Contactores CTA de Starkstrom, para intensidad y potencias indicadas.

ETCTA	Red CTA	Δ CTA	Y CTA
10	10	10	10
16'1	16	16	10
16	16	16	16
25'1	25	25	16
25	25	25	25
30'1	30	30	25
30	30	30	30
40'1	40	40	30
40	40	40	40
60'1	60	60	40
60	60	60	60
100'1	100	100	60
100	100	100	100
200'1	200	200	100
200	200	200	200

Grupos de contactores para arrancador estrella triángulo ETCTA de Starkstrom.

Relación de relés térmicos trifásicos que se pueden acoplar a los contactores CTA, según su calibre:
0'25-0'35, 0'35-0'45, 0'45-0'60, 0'60-0'75, 0'75-1'00, 1'00-1'30, 1'30-1'7, 1'7-2'2, 2'2-2'9, 2'9-3'8, 3'8-5'0, 5'0-6'5, 6'5-8'5, 8'5-11, 11-15, 15-20, 19-25, 23-30, 30-38, 30-40, 38-49, 49-60, 60-78, 78-100, 90-115, 115-150, 150-200.

TABLAS DE CARACTERISTICAS DE CONTACTORES AGUT

Tipo	Intensidad permanente	Calibre	Potencia en CV admisible	
			220 v	380 v
CH01	10	0	3	5
CH11	16	1	5	8'5
CH21	25	2	8	12'5
CGR11	16	1	5	8'5
CGR21	25	2	10	15
CGR31	40	3	15	22
CGR43	65	4	25	35
CGR53	100	5	30	55
CGR63	160	6	50	90
CG 73	250	7	80	135
CG 83	400	8	125	210
CG 93	650	9	220	350
CG103	1.000	10	300	525
CG113	1.600	11	500	875
CG123	2.500	12	900	1.350

Contactores Agut para intensidades y potencias indicadas.

RELES TERMICOS AGUT, MODELOS RTH

Tipo	Regulación	Tipo	Regulación
RTH - 0'2	0'16 - 0'25	RTH - 3'2	2'5 - 4
RTH - 0'22	0'25 - 0'40	RTH - 5	4 - 6'5
RTH - 0'5	0'40 - 0'65	RTH - 8	5'5 - 10'5
RTH - 0'8	0'65 - 1	RTH - 12	9 - 16
RTH - 1,2	1 - 1'6	RTH - 20	14 - 26
RTH - 2	1'6 - 2'5		

Tipo	Intensidad permanente	Calibre	Potencia en CV admisible	
			220 v	380 v
EGR21	25	2	10	15
EGR31	40	3	15	25
EGR41	65	4	25	40
EGR53	100	5	35	60
EGR63	160	6	55	100
EGR73	250	7	85	150
EG 83	400	8	135	235
EG 93	650	9	220	380
EG103	1.000	10	330	575

Grupo de contactores para arrancador estrella triángulo de Agut, modelos GR y G.

RELES MAGNETOTERMICOS, MODELO RMT

Tipo	Regulación	Tipo	Regulación
RMT - 0'5	0'4 - 0'65	RMT - 32	22 - 41
RMT - 0'8	0'65 - 1	RMT - 50	35 - 65
RMT - 1'2	1 - 1'6	RMT - 80	56 - 104
RMT - 2	1'6 - 2'5	RMT - 125	87 - 162
RMT - 3'2	2'5 - 4	RMT - 200	140 - 260
RMT - 5	3'5 - 6'5	RMT - 320	224 - 416
RMT - 8	5'5 - 10'5	RMT - 500	350 - 650
RMT - 12	9 - 16	RMT - 800	560 - 1.040
RMT - 20	14 - 26		

TABLAS DE DIAMETROS, SECCIONES, DENSIDADES, CARGA TOTAL Y PESO DE CONDUCTORES DE COBRE AISLADOS CON GOMA O PLASTICO

Diámetro d en mm	Sección s en mm²	Carga en A	Kgrs por Km	Densidad δ en A/mm²
1	0'785	6'3	6'9	8
1'1	1	8	8'9	8
1'4	1'5	10'5	13'4	7
1'8	2'5	16'2	22'2	6'5
2'2	4	24	35'4	6
2'5	5	29	44	5'8
2'7	6	33'6	53'3	5'6
3	7	37'8	62'3	5'4
3'6	10	50	89	5
4'5	16	73'6	142	4'6
5'6	25	100	223	4
6'6	35	128	312	3'6
7	40	136	354	3'4
8	50	150	440	3
9	60	162	533	2'7
10	70	175	623	2'5
10'3	80	184	712	2'3
10'6	90	198	801	2'2
11'2	100	210	890	2'1
12'4	120	228	1.068	1'9
13'8	150	260	1.335	1'7

Ejemplo: Si un conductor con 29 A de carga es de un cable de 2'5 mm de diámetro y la sección es de 5 mm², la densidad resulta de $\delta = \frac{I}{S} = \frac{29}{5} = 5'8$ A/mm².

CARGA MAXIMA DE CORRIENTE Y DENSIDAD COMUNMENTE EMPLEADA PARA INSTALACIONES DE FUERZA EN PEQUEÑAS LONGITUDES. SECCION EMPLEADA Y DIAMETRO EN FUNCION DE LA CARGA TOTAL. DENSIDAD DE CORRIENTE QUE LE CORRESPONDE

Carga I en A	Sección s en mm²	Diámetro d en mm	Densidad $\bar{\delta}$ en A/mm²
3	0'40	0'77	7'5
4	0'57	0'85	7
5	0'78	1	6'5
7'5	1'2	1'2	6'3
10	1'7	1'5	5'8
12	2'1	1'6	5'7
15	2'8	1'9	5'3
18	3'5	2'1	5
20	4'2	2'3	4'8
25	5'5	2'7	4'5
30	7'1	3	4'2
35	8'2	3'2	4'1
40	10'2	3'6	3'9
45	11'8	3'8	3'8
50	13'5	4	3'7
55	15'3	4'4	3'6
60	17	4'6	3'5
65	19'1	4'9	3'4
70	21'2	5'2	3'3
75	23'4	5'5	3'2
80	25'8	5'7	3'1
85	28	6	3
90	30	6'1	3
100	35'8	6'7	2'8
125	50	8	2'6
150	68	9'3	2'2

Fórmulas: $\delta = \frac{I}{S}$; $s = \frac{I}{\delta}$; $I = \delta \times S$;

$s = 0'785\ d^2$; $d = \sqrt{\frac{S}{0'785}}$.

RESISTENCIA ESPECIFICA O COEFICIENTE DE RESISTIVIDAD EN OHMIOS POR MM² DE SECCION Y POR METROS LINEALES DE LONGITUD A LOS 15° C DE LOS MATERIALES MAS EMPLEADOS, COEFICIENTE DE TEMPERATURA, DENSIDAD Y PUNTO DE FUSION

Símbolo	Material	ρ	Coeficiente de temperatura	Peso específico	Punto fusión °C	Material
Ag	Plata	0'0170	0'0036	10'6	960	Conductor
Cv	Cobre	0'0175	0'0039	8'9	1.080	Conductor
Au	Oro	0'022	0'0035	19'4	1.060	Conductor
Al	Aluminio	0'029	0'0039	2'75	655	Conductor
W	Wolframio	0'070	0'0005	19'2	3.000	Conductor
Os	Osmio	0'095	—	22'5	—	Resistente
Pt	Platino	0'11	0'003	21'5	1.710	Conductor
Sn	Estaño	0'12	0'0044	7'3	232	Conductor
Ni	Níquel	0'12	0'0038	8'9	1.485	Conductor
Ta	Tántalo	0'165	0'003	16'8	2.900	Conductor
—	Acero	0'20	0'005	7'8	1.300	Conductor
Pb	Plomo	0'21	0'0038	11'4	325	Conductor
Ni	Niquelina	0'42	0'0002	8'8	1.200	Resistente
—	Manganina	0'42	0'00001	8'4	960	Resistente
—	Constantan	0'50	0'00010	8'8	1.275	Resistente
Hg	Mercurio	0'95	0'0009	13'6	—	—
—	Nichrom	1'08	0'0001	8'5	1.390	Resistente
Bi	Bismuto	1'25	0'0036	9'8	270	—

Para determinar el coeficiente de resistividad se emplea la fórmula $\rho = \frac{R \times S}{L}$ para cualquier material, siendo S la sección en mm², L la longitud en metros y R la resistencia en ohmios, la cual se calcula haciendo pasar una corriente I con una tensión V, así: $R = \frac{V}{I}$.

POTENCIA APARENTE EN KVA EN FUNCION DE LA POTENCIA ACTIVA EN KW Y DEL FACTOR DE POTENCIA DE UN MOTOR

Potencia		Factor de potencia								
CV	Kw	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
1'36	1	1	1'05	1'10	1'18	1'25	1'32	1'43	1'54	1'65
2'72	2	2	2'11	2'23	2'35	2'50	2'67	2'86	3'08	3'32
4'08	3	3	3'16	3'33	3'52	3'75	4'00	4'30	4'62	5'00
5'44	4	4	4'21	4'43	4'70	5'00	3'32	5'72	6'16	6'64
6'80	5	5	5'27	5'56	5'88	6'25	6'67	7'15	7'70	8'30
8'16	6	6	6'32	6'67	7'06	7'50	8'00	8'57	9'28	10'00
9'52	7	7	7'36	7'79	8'22	8'75	8'33	10'00	10'78	11'42
10'88	8	8	8'12	8'88	9'40	10'00	11'70	11'30	12'23	13'28
12'24	9	9	9'46	10'00	10'60	11'30	12'00	12'92	13'86	14'94
13'60	10	10	10'50	11'10	11'80	12'50	13'30	14'28	15'40	16'66

Para calcular cualquier otro valor puede hacerse por interpolación o empleando las fórmulas siguientes, igualmente para mayores potencias y para factores de potencia inferiores a 0'60:

$$\text{factor de potencia } \cos\varphi = \frac{Kw}{KVA}, \text{ de donde } KVA = \frac{Kw}{\cos\varphi}.$$

Ejemplo: La potencia aparente de un motor de 25 CV. 18'30 Kw con factor de potencia $\cos\varphi = 0'85$ será:

$$KVA = \frac{Kw}{\cos\varphi} = \frac{18'38}{0'85} = 21'62$$

RELACION DE LA POTENCIA, CORRIENTE, RENDIMIENTO Y FACTOR DE POTENCIA SEGUN LA TENSION DE TRABAJO EN UN MOTOR ASINCRONO

Potencia útil		Potencia absorbida Kw	Rendimiento η	Factor potencia cos φ	Intensidad consumida		
CV	Kw				220 v	380 v	660 v
0'2	0'15	0'21	0'68	0'65	0'86	0'50	0'30
0'3	0'25	0'32	0'70	0'67	1'24	0'72	0'42
0'4	0'29	0'40	0'72	0'70	1'54	0'88	0'50
0'5	0'37	0'50	0'73	0'72	1'84	1'05	0'60
0'75	0'55	0'74	0'75	0'74	2'60	1'50	0'87
1'0	0'74	0'95	0'76	0'75	3'34	1'96	1'10
1'5	1'1	1'4	0'78	0'77	4'8	2'8	1'6
2'0	1'5	1'9	0'80	0'80	6'0	3'5	2'0
2'5	1'8	2'3	0'81	0'82	7'3	4'2	2'4
3'0	2'2	2'7	0'81	0'83	8'5	5'0	2'9
4'0	2'9	3'6	0'82	0'83	11'2	6'5	3'7
5'0	3'7	4'4	0'83	0'84	13'6	7'9	4'6
6'0	4'4	5'2	0'85	0'84	16'3	9'4	5'4
7'5	5'5	6'5	0'85	0'84	20'1	12'0	6'8
10	7'4	8'7	0'85	0'85	26'7	15'5	8'9
12	8'8	10'3	0'86	0'86	31	18'2	10'5
15	11'0	12'6	0'87	0'86	38	22	12'8
18	13'3	15'0	0'88	0'87	45	26	15'0
20	14'7	16'8	0'88	0'87	51	29	16'8
30	22'1	24'8	0'89	0'89	74	43	25
40	29'4	33'0	0'89	0'88	99	57	33

Para cualquiera otros valores diferentes de potencia, tensión, factor de potencia y rendimiento, se emplea la fórmula siguiente

$$I = \frac{\text{Kw útiles} \times 1.000}{\sqrt{3}\ U \cos\varphi \times \eta} = \frac{1.000\ CV}{1'36 \times \sqrt{3}\ U \cos\varphi \times \eta}$$

POTENCIA REACTIVA NECESARIA DE CONDENSADORES PARA MEJORAR EL FACTOR DE POTENCIA (EN KVA POR CADA KW DE POTENCIA ACTIVA)

Cos φ actual	Factor de potencia solicitado a obtener				
	0'80	0'85	0'90	0'95	1'00
0'40	1'54	1'67	1'81	1'96	2'29
0'42	1'41	1'54	1'68	1'84	2'16
0'44	1'29	1'42	1'56	1'71	2'04
0'46	1'20	1'32	1'45	1'61	1'94
0'48	1'10	1'21	1'34	1'50	1'83
0'50	0'98	1'12	1'26	1'40	1'73
0'52	0'89	1'02	1'17	1'31	1'64
0'54	0'82	0'94	1'08	1'23	1'56
0'56	0'73	0'86	1'00	1'15	1'48
0'58	0'67	0'78	0'93	1'08	1'41
0'60	0'58	0'73	0'85	1'00	1'33
0'62	0'52	0'65	0'78	0'94	1'27
0'64	0'45	0'58	0'72	0'87	1'21
0'66	0'40	0'52	0'66	0'82	1'14
0'68	0'34	0'46	0'59	0'75	1'09
0'70	0'27	0'40	0'55	0'69	1'02
0'72	0'22	0'34	0'48	0'64	0'97
0'74	0'16	0'29	0'44	0'59	0'91
0'76	0'12	0'18	0'37	0'53	0'86
0'78	0'05	0'14	0'32	0'47	0'81
0'80	—	0'08	0'27	0'42	0'75
0'82	—	0'03	0'21	0'38	0'70
0'84	—	—	0'16	0'32	0'65
0'86	—	—	0'12	0'26	0'60
0'88	—	—	—	0'21	0'54
0'90	—	—	—	0'17	0'48

Se solicita la corrección de un factor de potencia desde cos $\varphi_1 = 0'66$ a cos $\varphi_2 = 0'85$ para no consumir energía reactiva. Cruzando ambos valores en la tabla encontramos 0'52 KVA por cada Kw activo. Para valores intermedios se interpolan los resultados. Tabla calculada con la fórmula $KVAR = Kw\ (\text{tag}\ \varphi_1 - \text{tag}\ \varphi_2)$.

TABLA DE HILOS PARA FUSIBLES DE PLOMO EN FUNCION DE LA CARGA Y CON UNA SOBREINTENSIDAD DEL 50 POR 100

Intensidad nominal	Intensidad de fusión con 50 %	Ø del hilo	Intensidad nominal	Intensidad de fusión con 50 %	Ø del hilo
0'4	0'6	0'20	6	9	1
0'6	0'9	0'25	6'5	9'8	1'20
0'8	1'2	0'28	7'0	10'5	1'22
1'0	1'5	0'35	7'5	11'2	1'25
1'2	1'75	0'39	8'0	12'0	1'30
1'5	2'2	0'42	8'5	12'6	1'35
1'8	2'75	0'44	9'0	13'5	1'40
2	3'00	0'52	9'5	14'2	1'45
2'2	3'35	0'56	10	15'0	1'52
2'5	3'7	0'60	12	18	1'75
2'8	4'25	0'65	13	19'5	1'80
3	4'5	0'68	14	21	1'90
3'3	4'8	0'70	15	22'5	2'00
3'5	5'3	0'75	16	24	2'08
3'8	5'75	0'80	17	25'5	2'15
4	6'1	0'83	18	27	2'25
4'5	6'7	0'88	19	28'5	2'28
5	7'5	0'95	20	30	2'40
5'5	8'2	1'00			

Tabla deducida según la fórmula $d = m \cdot \sqrt{I_f^2}$, siendo $I_f = I_n + \frac{I_n}{2} = I_n + 50$ por 100 de I_n, m es el coeficiente de trabajo del plomo $m = 0'25$.

Valor medio del flujo luminoso para lámparas incandescentes a 220 V:

Potencia	40	60	100	200	300	500	1.000	2.000	w
Lúmenes	450	750	1.380	2.950	2.950	8.400	19.000	38.000	lux

Valor medio del flujo luminoso para tubos fluorescentes a 220 v:

Potencia	15	20	40	60	w
Lúmenes	780	850	2.000	3.500	lux

Iluminación media aproximada en lux, según el local:

Pasillos, escaleras	30
Despachos, lavavos	50
Trabajos normales	60
Escuelas, música	120
Comedor, escritorio	200
Talleres relojería, trabajos finos, ventas	250
Trabajos manuales, dibujo	400
Venta especial, dibujo técnico	500
Clínica, operaciones	2.500
Talleres pulido, zurcido	3.500

INTENSIDAD POR FASE EN LOS TRANSFORMADORES TRIFASICOS EN FUNCION DE LA POTENCIA Y DE LA TENSION EN KVA Y VOLTIOS, RESPECTIVAMENTE

Potencia	Voltios						
KVA	220	440	1000	4000	5000	7000	10000
10	26'3	13'1	5'8	1'5	1'15	0'82	0'58
15	39'4	19'7	8'7	2'2	1'73	1'24	0'87
20	52'5	26'2	11'5	2'9	2'30	1'65	1'15
25	65'6	32'8	14'5	3'6	2'90	2'06	1'45
30	78'7	39'4	17'3	4'4	3'46	2'47	1'73
35	91'8	46'0	20'2	4'9	4'00	2'88	2'02
40	105	52'5	23'1	5'8	4'62	3'31	2'31
45	118	59'0	29	6'5	5'20	3'72	2'9
50	131	65'6	29	7'2	5'78	4'13	2'9
55	144	72	32	8'0	6'35	4'54	3'2
60	157	79	35	8'7	6'93	4'96	3'5
65	171	85	37	9'3	7'51	5'36	3'7
70	184	92	40	9'9	8'10	5'76	4'0
75	197	98	43	10'7	8'67	6'18	4'3
80	210	105	46	11'6	9'25	6'60	4'6
85	223	111	52	12'3	9'83	7'02	5'2
90	236	118	52	13'0	10'40	7'43	5'2
95	249	125	58	13'7	10'98	7'84	5'8
100	263	131	58	14'5	11'56	8'26	5'8
125	328	164	72	18'1	14'5	10'30	7'2
175	459	229	101	28'8	20'2	14'45	10'1
320	840	420	185	46'3	37'0	26'42	18'5
625	1.640	820	361	90'3	72'2	51'61	36'1

Para otras potencias y tensiones emplear la fórmula

$$I = \frac{1.000 \times KVA}{\sqrt{3} \times V}.$$

Ejemplo: Potencia de 500 KVA, con una tensión de 660 v

$$I = \frac{1.000 \times KVA}{\sqrt{3} \times 660} = 438 \text{ A.}$$

Fórmulas más importantes en el cálculo de transformadores:

Primario: tensión simple $v_1 = \frac{V_1}{\sqrt{3}}$, entre fases V_1.

Secundario: tensión simple $v_2 = \frac{V_2}{\sqrt{3}}$, entre fases V_2.

Fórmula general de la f.e.m.: $V_1 = 4'44\ f \varnothing N_1\ 10^{-8}$ voltios.

$V_2 = 4'44\ f \varnothing N_2\ 10^{-8}$ voltios.

Dividiendo ambas igualdades se obtiene $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$ relación muy importante.

Si se desprecian las pérdidas, puesto que el rendimiento es muy alto, tenemos con $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2$

$$P_1 = \sqrt{3}\, V_1 I_1 \cos \varphi_1 \qquad P_2 = \sqrt{3}\, V_2 I_2 \cos \varphi_2$$

$V_1 I_1 = V_2 I_2$, de donde $\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$ y en general $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$ relación importantísima.

CONVERSION DE LA POTENCIA DE UN MOTOR DE CABALLOS A KILOWATIOS Y DE KILOWATIOS A CABALLOS

Caballos (CV)	Kilovatios (Kw)	Kilovatios (Kw)	Caballos (CV)
1	0'736	0'736	1
1'5	1'10	1	1'36
2'0	1'47	1'5	2'0
2'5	1'84	2'0	2'72
3'0	2'20	2'5	3'40
3'5	2'57	3'0	4'08
4'0	2'94	3'5	4'75
4'5	3'31	4'0	5'44
5'0	3'68	4'5	6'12
5'5	4'05	5'0	6'80
6'0	4'40	5'5	7'48
6'5	4'78	5'75	7'82
7'0	5'15	6'0	8'16
7'5	5'52	6'25	8'50
8'0	5'88	6'5	8'84
8'5	6'25	6'75	9'38
9'0	6'62	7'0	9'52
9'5	6'99	7'25	9'85
10	7'36	7'50	10'20
11	8'10	7'75	10'54
12	8'83	8'0	10'88
14	10'30	8'25	11'22
15	11'04	8'5	11'56
16	11'76	8'75	11'90
18	13'24	9'0	12'24
20	14'70	10	13'60
25	18'40	12	16'32
30	22'0	15	20'4
35	25'7	20	27'2
40	29'4	25	34'0
45	33'1	30	40'8
50	36'8	40	54'4
55	40'5	50	68'0
60	44'0	60	81'6
70	51'5	70	95'2
80	58'8	80	108'8
90	66'2	90	122'4
100	73'6	100	136'0

Hay placas de características en las que solamente viene dada la potencia en Kw; para saber la potencia en CV se mira la tabla o se resuelve así: para 55 Kw corresponden 55 × 1'36 = 74'8 CV.

FORMULAS MAS EMPLEADAS

CORRIENTE CONTINUA

$$I = \frac{V}{R}, \quad V = R \cdot I, \quad R = \frac{V}{I}, \quad P = V \cdot I, \quad V = \frac{P}{I},$$

$$I = \frac{P}{V}, \quad P = V \cdot I = V \cdot \frac{V}{R} = \frac{V^2}{R}, \quad V = \sqrt{P \cdot R},$$

$$P = V \cdot I = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2, \quad R = \frac{V^2}{P}, \quad E = R \cdot I,$$

$$I = \frac{E}{R}, \quad R = \frac{E}{I}, \quad P = E \cdot I, \quad E = \frac{P}{I}, \quad I = \frac{P}{E},$$

$$P = E \cdot I = E \cdot \frac{E}{R} = \frac{E^2}{R}, \quad P = E \cdot I = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2,$$

$$S = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 0'785 \cdot d^2, \quad R = \frac{E^2}{P},$$

$$E = \sqrt{P \cdot R}, \quad d = \sqrt{\frac{s}{0'785}}, \quad R = \rho \cdot \frac{l}{s}, \quad s = \rho \cdot \frac{l}{R},$$

$$I = \frac{S \cdot R}{\rho}, \quad \rho = \frac{S \cdot R}{l}, \quad R_{rs} = n \cdot r, \quad R = R_1 + R_2,$$

$$R_{rp} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}, \quad P = P_1 + P_2, \quad I = I_1 + I_2, \quad I = \frac{V}{R_1 + R_2}.$$

Aclaración de los factores que intervienen en estas fórmulas:

	Significado	Unidad
I	intensidad de corriente	amperio (A)
V	tensión o voltaje	voltio (V)
R	resistencia óhmica	ohmio (ω)
P	potencia eléctrica	vatio (w)
E	fuerza electromotriz	voltio (V)
S	sección de un conductor	mm^2
π	constante	3'1416
ρ	coeficiente de resistividad ...	0'0175 ($\omega\ mm^2/m$)
l	longitud de conductor	metros (m)
R_{rs}	resistencia reducida, serie ...	ohmio (ω)
n	número de resistencias en serie	
r	valor de resistencias en serie	ohmio (ω)
R_1	resistencia parcial	ohmio (ω)
R_2	resistencia parcial	ohmio (ω)
R_{rp}	resistencia reducida paralelo .	ohmio (ω)
P_1	potencia de un receptor	vatios (w)
P_2	potencia de un receptor	vatios (w)

FORMULAS MAS EMPLEADAS

CORRIENTE ALTERNA

$$I = \frac{V}{Z} \qquad V = I \cdot Z, \qquad Z = \frac{V}{I}, \qquad P_m = U \cdot I \cdot \cos \varphi,$$

$$U = \frac{P_m}{I \cdot \cos \varphi}, \qquad I = \frac{P_m}{U \cdot \cos \varphi}, \qquad \cos \varphi = \frac{P_m}{U \cdot I},$$

$$P_b = \sqrt{2} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi, \qquad P_t = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi,$$

$$U = \frac{P_b}{\sqrt{2} \cdot I \cdot \cos \varphi}, \qquad U = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot I \cdot \cos \varphi},$$

$$I = \frac{P_b}{\sqrt{2} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \qquad I = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi},$$

$$\cos \varphi = \frac{P_b}{\sqrt{2} \cdot U \cdot I}, \qquad \cos \varphi = \frac{P_t}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I},$$

$$P_A^2 = P_a^2 + P_r^2, \qquad P_A = \sqrt{P_a^2 + P_r^2}, \qquad P_a^2 = P_A^2 - P_r^2,$$

$$P_a = \sqrt{P_A^2 - P_r^2}, \qquad P_r^2 = P_A^2 - P_a^2, \qquad P_r = \sqrt{P_A^2 - P_a^2},$$

$$P_A = U \cdot I, \qquad \cos \varphi = \frac{P_a}{P_A}, \qquad P_a = P_A \cdot \cos \varphi,$$

$$P_r = P_A \cdot \operatorname{sen} \varphi = U \cdot I \cdot \cos \varphi, \qquad \operatorname{sen} \varphi = \frac{P_r}{P_A},$$

$$Z^2 = R^2 + \left(\mathfrak{L}\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2, \qquad Z = \sqrt{R^2 + \left(\mathfrak{L}\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}.$$

Aclaración de los factores que intervienen en estas fórmulas:

	Significado	Unidad	
I	intensidad de corriente .	amperio	(A)
V	tensión o voltaje	voltio	(V)
Z	impedancia o resistencia aparente	ohmio	(ω)
P_m	potencia monofásica	vatio	(w)
P_b	potencia bifásica	vatio	(w)
P_t	potencia trifásica	vatio	(w)
cos φ	factor de potencia	de cero a uno	
P_A	potencia aparente ...	voltamperio	(VA)
P_a	potencia activa	vatio	(w)
P_r	potencia reactiva	vatios reactivos	
$\mathfrak{L}$	coeficiente de autoinducción	henrios	(h)
ω	velocidad angular	radianes/segundo	
C	capacidad	microfaradios μF	(VAR)
$\mathfrak{L}\omega$	reactancia inductiva	ohmios	(ω)
$\frac{1}{C\omega}$	reactancia capacitativa ...	ohmios	(ω)

PREVENCIONES Y PELIGROS ELECTRICOS

En los trabajos relacionados con la electricidad en máquinas, aparatos eléctricos e instalaciones, es obligado poner todos los medios legislados y al alcance del que los realiza, para prever un posible accidente y evitarlo, tanto en alta como en baja tensión.

En baja tensión todo operario que manipule en una instalación, en una máquina eléctrica, en un motor, etc., deberá tener en cuenta los siguientes términos:

1. **Respecto a sus vestidos:**
   - **a)** Según los casos, llevará puestos unos guantes de goma.
   - **b)** Nunca llevará los pies descalzos y sí con calzado de goma.
   - **c)** No tocará interruptor o aparato eléctrico con las manos mojadas o con los pies descalzos, en el baño, o pisando el suelo.
   - **d)** Las prendas de vestir no serán combustibles, por si se proyecta alguna chispa sobre ellas.

2. **Respecto a precauciones:**
   - **a)** No tocar un borne conectado, ni un conductor; comprobar la tensión.
   - **b)** No manipular grifos o elementos mecánicos a la vez que se toca un conductor, un aparato eléctrico o un interruptor.
   - **c)** No llevar ni manos ni pies húmedos.
   - **d)** Al desconectar cualquier receptor, no tirar del conductor para desenchufarle; asirle por el aislante de la clavija.
   - **e)** Según el tipo de trabajo, durante tormentas suspenderlo.
   - **f)** Las escaleras no tendrán partes metálicas.
   - **g)** Usar trepadores y cinturones de seguridad.

3. **Respecto a las herramientas:**
   - **a)** Los alicates, atornilladores y otras herramientas de trabajo deberán llevar mangos aislantes.
   - **b)** Guardar la herramienta en lugar seco.
   - **c)** Las máquinas eléctricas portátiles, como taladradora, esmeril y otras, llevarán el conductor de tierra.
   - **d)** Es necesario llevar un comprobador de tensión.

4. **Respecto al trabajo:**
   - **a)** Colocar un cartel que diga **«No tocar, peligro, personal trabajando».**
   - **b)** Desconectar la máquina, motor, línea, etc., con el interruptor, seccionador, contactor y, además, quitar los fusibles correspondientes.
   - **c)** En lugares húmedos emplear portátil a 24 V.

En instalaciones de alta tensión, como son casetas con transformadores, estaciones transformadoras, interruptores de alta tensión en baño de aceite, automáticos, líneas de alta tensión, acometidas, postes de conducción

y otros, las precauciones —tanto personales como elementos a usar— serán extremadas al máximo.

Está prohibido trabajar sin protección y sin tomar las medidas oportunas; en cualquier trabajo en alta tensión hay que asegurarse de que la llegada está desconectada visiblemente, y si es a través de interruptores en baño de aceite o puntos que no se ven deberá hacerse cortocircuito y puesta a tierra, para prevenir accidentalmente una falsa maniobra; se colocará una señalización con un rótulo como «NO TOCAR, PELIGRO DE MUERTE», o bien un vigilante indicando que se está realizando un trabajo.

Debe comprobarse la ausencia de tensión.

Se empleará una pértiga adecuada al trabajo de corte en seccionadores y cuchillas.

Se empleará una banqueta con apoyos aislantes para pisar.

Si en la parte de baja tensión hay condensadores se descargarán entre sí o al bobinado del motor y se desconectarán de línea.

Como en baja, usará guantes de goma y herramientas aislantes en la proporción adecuada al caso.

En la rama eléctrica, muy extensa en sus tipos de instalaciones en talleres, fábricas, alumbrado, usos domésticos, etc., en baja y alta tensión, suelen suceder accidentes debidos a fallos técnicos y humanos y a la falta de prevención de ellos, ya que en la electricidad —a través de máquinas, conductores, líneas, aislantes, aparatos de medida, etc.—, en todos éstos y otros elementos, puede aparentemente encontrarse un peligro latente y que con el tiempo, o acompañado por un fallo humano, originará un accidente, si no se le puso el remedio correspondiente previniéndolo; el fallo técnico debe eliminarse por completo, pues estos accidente son de consecuencias fatales.

En baja tensión los conductores, cables, caja de bornas, aparatos de medida y maniobra y maquinaria en general, se procurará que estén bien aislados y protegidos, así como fuera del alcance de la mano; puede haber un fallo de tierra.

Generalmente una descarga eléctrica es mortal si no se le atiende a tiempo tomando todas las precauciones y medidas, y a veces no se puede hacer nada, sobre todo si fue en alta tensión. Una tensión solamente de 125 voltios, según circunstancias y forma de contacto, puede ser mortal.

En alta tensión las medidas preventivas deben extremarse al máximo: no cabe rectificar, no deben admitirse fallos; la seguridad deberá ser absoluta; el aislamiento, las distancias, las barandillas, las órdenes y obligaciones se respetarán; habrá taburetes, pértigas aislantes y señalización de peligros.

En cuanto a fallos humanos, éstos son muy complejos en calidad y procedencia, y a título de mencionar algunos diremos que se producen, a pesar de que los sistemas, las medidas, los elementos de protección y prevención de accidentes se encuentren en buenas condiciones, ya que un fallo humano (según sea o se repita) lo lleva al accidente una u otra vez.

Como fallo humano citaremos:

a) Descuido por distracción no justificada.

b) Por bromas entre compañeros.

c) Por falta de atención e imprudencias.

d) Por temeridad y eliminar los medios de protección.

e) Por falta de cumplir las órdenes de los superiores.

f) Por confiar más en sí mismo que en las advertencias y normas de seguridad.

Estos y otros fallos humanos se consideran imputables directos al individuo, mientras que otros —siendo también fallos humanos— no son considerados en función directa, por reunir en ellos características ambientales, sociales, familiares, ajenas al trabajo, como son:

a) Preocupación por su medio social.

b) Preocupación por los problemas familiares.

c) Descontentos por costumbre.

d) Temperamentos nerviosos.

e) Costumbres mal adquiridas.

f) Poseer defectos físicos que disminuyan su capacidad.

g) Por complejos sobre los demás.

h) Y, en general, fallos humanos por mal ambiente de trabajo y monotonía, que restan facultades funcionales y operativas que distraen en el trabajo, perdiendo la visión de lo real y quedando predispuesto a un más probable accidente.

CAPITULO PRIMERO

Este capítulo comprende treinta esquemas, en los que se representan circuitos de trabajo y de mando sobre el empleo de contactores y relés de protección y maniobra, según relación siguiente:

Esquema núm. 1. Mecanismo de un contactor.
Esquema núm. 2. Esquema de mando de un contactor.
Esquema núm. 3. Contactor con dos mandos a distancia.
Esquema núm. 4. Mando de un contactor a distancia.
Esquema núm. 5. Contactor con piloto de señalización.
Esquema núm. 6. Enclavamiento de dos motores.
Esquema núm. 7. Esquema de tres motores enclavados.
Esquema núm. 8. Motores enclavados.
Esquema núm. 9. Esquema formado por tres contactores.
Esquema núm. 10. Esquema de mando múltiple de un motor.
Esquema núm. 11. Instalación de dos motores y un mando.
Esquema núm. 12. Tensión de mando en los contactores.
Esquema núm. 13. Protección de un motor.
Esquema núm. 14. Relé térmico de protección.
Esquema núm. 15. Protección con relé magnetotérmico.
Esquema núm. 16. I Relé temporizado.
Esquema núm. 16. II Relé térmico temporizado.
Esquema núm. 16. III Relés temporizados.
Esquema núm. 17. I Relé, aplicaciones.
Esquema núm. 17. II Instalación de anuncio temporizado.
Esquema núm. 17. III Circuito de señalización.
Esquema núm. 18. Reloj temporizador.
Esquema núm. 19. Temporizador en un circuito.
Esquema núm. 20. Parada del receptor con el temporizador.
Esquema núm. 21. Mando por temporizador.
Esquema núm. 22. Equipo electrónico fotoeléctrico.
Esquema núm. 23. Protección de relés con arranques fuertes.
Esquema núm. 24. Circuito de maniobra y diagrama de tiempos.
Esquema núm. 25. Circuito de maniobra y diagrama de tiempos.
Esquema núm. 26. Circuito de maniobra y diagrama de tiempos.

INTRODUCCION

Durante muchos años, para poner en marcha y parar un motor se empleó el interruptor llamado de palanca (monofásico, bifásico y trifásico), el que daba paso a la corriente a través de la línea de alimentación; estaba formado por unas cuchillas de latón unidas por una pieza aislante terminada en una empuñadura.

A medida que la técnica se ha ido perfeccionando, ampliando considerablemente la producción y consumo de energía eléctrica, han aparecido nuevos dispositivos eléctricos de mando de accionamiento de máquinas eléctricas, con protección, control de las mismas, accionamiento a distancia y automatización. El automatismo de aparatos eléctricos se ha extendido a toda clase de máquinas y elementos, aplicado a la maniobra y control de circuitos varios y en la puesta en marcha de motores trifásicos.

Actualmente la puesta en marcha de motores se realiza a distancia, merced a la aplicación del automatismo; ello significa (el mover cualquier aparato desde puntos distantes a su empleo) ahorro de tiempo y menor riesgo; además, desde un pupitre, puesto de mando, cabina, etc., puede partir la orden de mando para el accionamiento de varios motores, los que se pondrán en marcha según exigencias de trabajo. Todos ellos quedan señalizados de forma que siempre se sabrá cuáles y cuándo están funcionando; además, sobre un tablero o caja será señalizado si un motor, por sobrecarga u otra causa, se parará, empleando pilotos de señalización y relés de protección.

El presente capítulo trata de circuitos en los que se emplean los aparatos denominados contactores y contactores guardamotores, relés de protección, temporizadores y circuitos de maniobra con diagramas de tiempo. Cada uno de estos elementos que integran el campo del automatismo los vamos a exponer de forma clara en la presente introducción. En los esquemas que siguen se verán sus múltiples aplicaciones industriales, su constitución y comportamiento. Debe tenerse en cuenta que el elemento principal de un circuito automático es el contactor o interruptor, que mandado a distancia conecta y desconecta cualquier motor a línea. En primer lugar hablaremos de este pequeño aparato llamado contactor, para luego seguir con el relé de protección y temporizadores.

EL CONTACTOR

El contactor es un aparato eléctrico compuesto de varios elementos; una vez accionado conecta la línea con el motor, interviene en toda instalación con motores para una puesta en marcha y paro mandado por pulsadores, micros, finales de correra, boya, etc. Cierra y abre los contactores merced al desplazamiento mecánico de una pieza que es atraída por el campo magnético creado por una bobina alimentada con corriente continua o alterna. Para su elección de maniobra requieren algunas características de los motores de la instalación con los que van a trabajar, como es la potencia del motor, su carga, número de conexiones por hora, carga de conexión y otras circunstancias de trabajo del par resistente, arranque, inversiones, etc.

Esencialmente el contactor se compone de:

Un juego de contactos eléctricos, tantos como fases, generalmente tres, llamados principales o de trabajo, uno o varios contactos auxiliares de mando, realimentación, etcétera, los que pueden ser cerrados o abiertos en reposo o en trabajo. Los abiertos en reposo son los que trabajan al ser accionado el contactor; una bobina se encarga de producir el campo magnético que accione la armadura y, por lo tanto, los contactos.

Cuando la bobina es recorrida por una corriente, cuyo paso se le dio al pulsar un botón, crea un campo magnético con su atracción correspondiente, quedando la culata del electroimán dentro de este campo, siendo atraída, y tras de sí, los contactos principales de trabajo; esta bobina está construida con hilo de cobre, aislado con esmalte, impregnada de barniz contra los ácidos y humedad; el hilo va enrollado en el carrete de baquelita. Se construyen para diferentes tensiones de alimentación, tanto en corriente continua como en alterna.

El contactor presenta ventajas muy notables, como es el poder accionarlo a distancias de cualquier orden, empleando línea con hilos muy delgados y de poco costo desde el contactor hasta el pulsador instalado en un puesto de mando, centralizado con otros muchos; pueden enclavarse varios motores que se correspondan en procesos de fabricación, operaciones conjuntas o aisladas, de forma que un solo operario realice los movimientos más complicados; aún más, estos contactores pueden ser accionados automáticamente con auxilio de otros elementos sin la intervención humana, si su excitación la controla un nivel de líquido, una temperatura límite, un presostato, un final de carrera, una célula fotoeléctrica, una diferencia de potencial, una diferencia de corriente, etc. Por ejemplo, podemos citar un caso muy corriente, el de un compresor regulado entre 5 Kgs/cm^2 y 9 Kgs/cm^2: cuando éste se ponga en funcionamiento manualmente al pulsar el botón de puesta en marcha, el compresor empezará a trabajar, y cuando llegue a la máxima presión de 9 Kgs/cm^2, éste abrirá el circuito de excitación de la bobina, parando el motor; cuando la presión baje a 5 Kgs/cm^2, se cerrará el circuito que excita la bobina, ésta actúa sobre los contactos, atrayéndolos, y cierran los contactos conectando el motor, y así sucesivamente, no necesitando ponerlo en marcha mas que una vez.

En todo contactor hay que distinguir los contactos principales de trabajo ya citados y los contactos auxiliares, abiertos o cerrados, y en especial el juego de contactos abiertos en reposo llamados de permanencia o realimentación; éstos van conectados en paralelo o derivados con el pulsador de puesta en marcha (ver figura 1), con la finalidad de que cuando se deja de pulsar el botón de marcha **M**, éste retrocede abriendo el circuito merced a un muelle antagonista, pero el juego de contactos auxiliares ya se ha cerrado y ahora la corriente de alimentación de la bobina pasa por los contactos mencionados o de realimentación.

En la figura 2 se considera el esquema de un contactor con los siguientes elementos:

Un juego de contactos principales o de trabajo con tres contactos correspondientes a las fases **R**, **S** y **T** abiertos en reposo; un juego de contactos **P**, de permanencia para realimentar la bobina, como quedó dicho, abierto

en reposo; dos juegos de contactos auxiliares: uno de ellos (**1**) abierto en reposo y el otro (**2**), cerrado, y la bobina **B**.

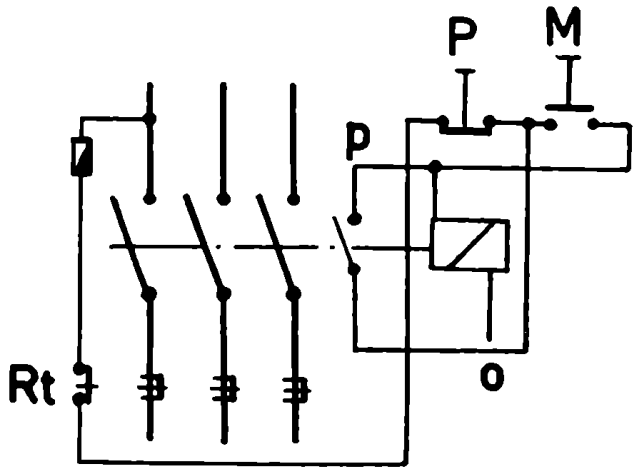


Figura 1

Generalmente un juego de contactos consta de dos contactos fijos **a**, y uno doble móvil **b**, según figura 3, en posición abiertos y cerrados. Los contactos son de cobre, con una capa de aleación de plata y níquel en su punto de contacto, para darle resistencia al arco eléctrico formado al abrir y cerrar el circuito debido a las estracorrientes de apertura y cierre.

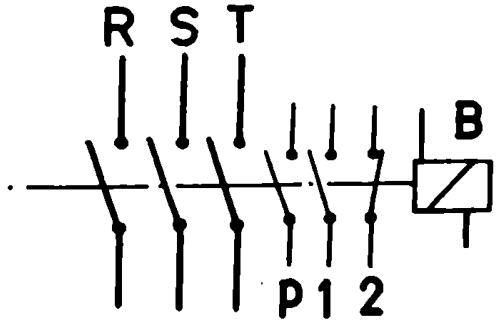


Figura 2

El funcionamiento del contactor es como sigue:

Una vez que ha sido pulsado el botón de puesta en marcha o arranque **M**, la corriente se establece por el circuito de mando, pasando por la bobina (ver figura 1); ésta se excita creando un campo magnético de atracción, formando un electroimán que ejerce una fuerza atractiva sobre la armadura de chapa magnética y ésta empuja los contactos móviles sobre los fijos cerrándolos y dando paso a la corriente de trabajo. Al pulsar el botón de parada **P** sucede lo contrario: se interrumpe el paso de corriente, se desexcita la bobina y abre los contactos como consecuencia del empuje del muelle que estaba comprimido en el núcleo magnético o armadura móvil.

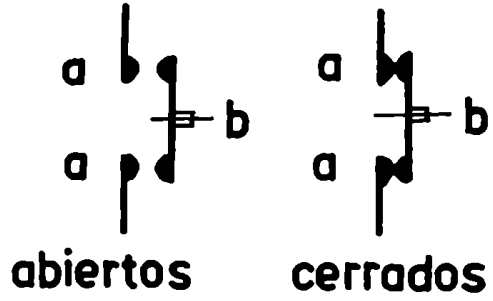


Figura 3

El núcleo magnético está formado por chapas magnéticas de alta permeabilidad magnética. Estas son láminas de 0'35 mm aisladas sus caras entre sí, que reducen las

pérdidas ocasionadas por las corrientes de Foucault. El núcleo lo complementa la armadura para que el circuito magnético de líneas de fuerza sea completo; según figura 4, en el núcleo central va alojada la bobina

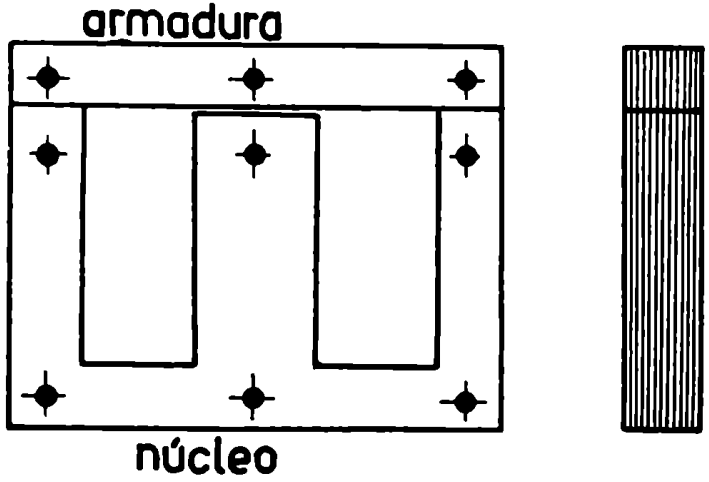


Figura 4

y ésta no llega a tocar con la armadura, ya que queda una holgura de 0'2 mm cuya finalidad es evitar el que, debido al magnetismo remanente habido después de que la bobina es desexcitada, quede unida la armadura al núcleo y siga conectado el contactor, así ese pequeño «entre hierro» obliga al magnetismo remanente a cortarse.

Otro inconveniente que presentan estos núcleos magnéticos, pero fácilmente resuelto, es la posible vibración entre el núcleo y la armadura, produciendo un zumbido y hasta una desconexión del circuito. Como la corriente alterna en un período pasa por el valor cero dos veces y, por lo tanto, como son 50 períodos por segundo, pasará por cero 100 veces por segundo, y la armadura tenderá a separarse otras tantas veces, por estar sometida a una tensión constante del muelle cada vez que la corriente pasa por cero y el flujo magnético invierte su sentido.

Como se ha dicho, queda resuelto el problema colocando, como lo hacen los constructores de contactores, una pequeña espira en los extremos del electroimán, cerrada y de cobre (según figura 5). En ella se produce

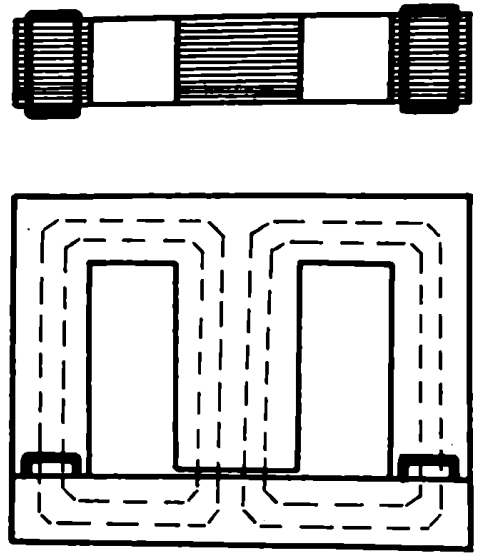


Figura 5

una corriente alterna inducida por el flujo del circuito magnético creado por la bobina. La corriente en las espiras produce otro flujo desfasado al principal, y con las variaciones de éste, al aparecer y desaparecer, se

produce el de espira en los puntos de corte, de forma que el campo magnético no queda nulo manteniendo cerrada la armadura, evitando toda vibración. Los contactos de cobre se dijo eran recubiertos por una aleación generalmente de plata-níquel u otras aleaciones con objeto de aportar algunas características que sólo con la plata no se obtendrían. Estas características mecánicas y eléctricas son: conductibilidad eléctrica y térmica que aporta la plata, poca resistencia al contacto eléc-

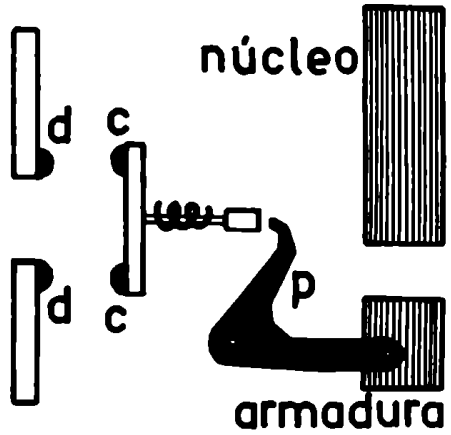


Figura 6

trico, resistencias mecánicas a golpe entre contactos, evitar que se fogueen y queden pegados, etc. El tamaño del contacto difiere según que el contactor esté calculado para una mayor intensidad dado el número de conexiones-hora que efectúe, la presión del contacto y el material que lo compone; éstos sufren al separarse debido a la corriente que circula por ellos calentándolos, sobre todo en el momento de separarse, a consecuencia de la extracorriente de apertura de circuito; ésta debe realizarse lo más rápidamente posible.

Véase en la figura 6 la disposición de los contactos fijos y móviles, así como la armadura que es atraída por el electroimán y al girar empuja a la palanca **P**, que conecta los contactos **c-c** sobre los **d-d** para el paso de la corriente.

d son contactos fijos, y

c son contactos móviles.

El trabajo de los contactos no es constante en lo que respecta al paso de corriente; ésta corriente no es fija, pues varía en muchos instantes; únicamente durante el funcionamiento normal del motor el consumo suele ser a veces constante. Las variaciones de carga se presentan en el instante de la conexión y la desconexión, así como en las sobrecargas del motor según clases de trabajo, luego se distinguen tres períodos en el trabajo del contactor:

a) **Momento de la conexión.** La corriente normal de funcionamiento del motor es In mientras que el momento de conexión depende del tipo de la máquina, tipo de trabajo, par resistente y de arranque, y puede llegar a ser varias veces superior a la normal de plena carga y es la. Esta corriente de conexión o de arranque debe tenerse en cuenta al dimensionar el contactor.

b) **Corriente normal de cargas In durante el tiempo de trabajo o conectado.** Puede suceder que haya sobrecargas y oscilaciones según condiciones de trabajo y variaciones del par resistente; según la frecuencia en que se suceden, el contactor deberá elegirse de mayor calibre para hacer frente a estos puntos de carga.

c) La corriente de desconexión generalmente suele ser igual o inferior a la normal.

Para motores de rotor bobinado la corriente de arranque se puede fijar en Ia = 2 In, y para arranques directos en rotores de jaula de ardilla, no bobinados, no debe llegar a Ia = 6 In.

Al elegir un contactor para un motor debe tenerse en cuenta algunos factores como son la tensión de línea, la potencia de carga en CV o intensidad de corriente, el tipo de arranque. Si es directo la corriente nominal es la que sirve de base, teniendo en cuenta los puntos y condiciones de trabajo aludidos anteriormente; las conexiones y desconexiones por hora se tendrán en cuenta también cuando pasen de 60 por hora; para ello debe buscarse en el gráfico de condiciones de trabajo el contactor adecuado, según potencia y número de conexiones.

En el arranque en estrellas triángulo la corriente nominal se multiplica por $0'58 = \frac{\sqrt{3}}{3}$.

La bobina del contactor se elige según alimentación entre fases y fase y neutro. (Ver el esquema número 12 del capítulo primero).

Los gráficos que constan en las placas de los contactores Strarkstrom son dos: el **1**, para arranques fáciles o cargas reducidas, y el **2**, para arranques duros, largos o difíciles, a ellos se debe acudir para la elección del contactor, en función de la potencia, la tensión y el número de conexiones hora (ver figura 7).

Ejemplo práctico 1: Se trata de elegir un contactor para un motor de 5 CV a 380 V con arranque directo a 60 conexiones por hora, bobina 220 V, trabajo normal. La intensidad nominal del motor es In = 8'5 A. El contactor debiera ser el 8'5 A; pero el inmediato superior

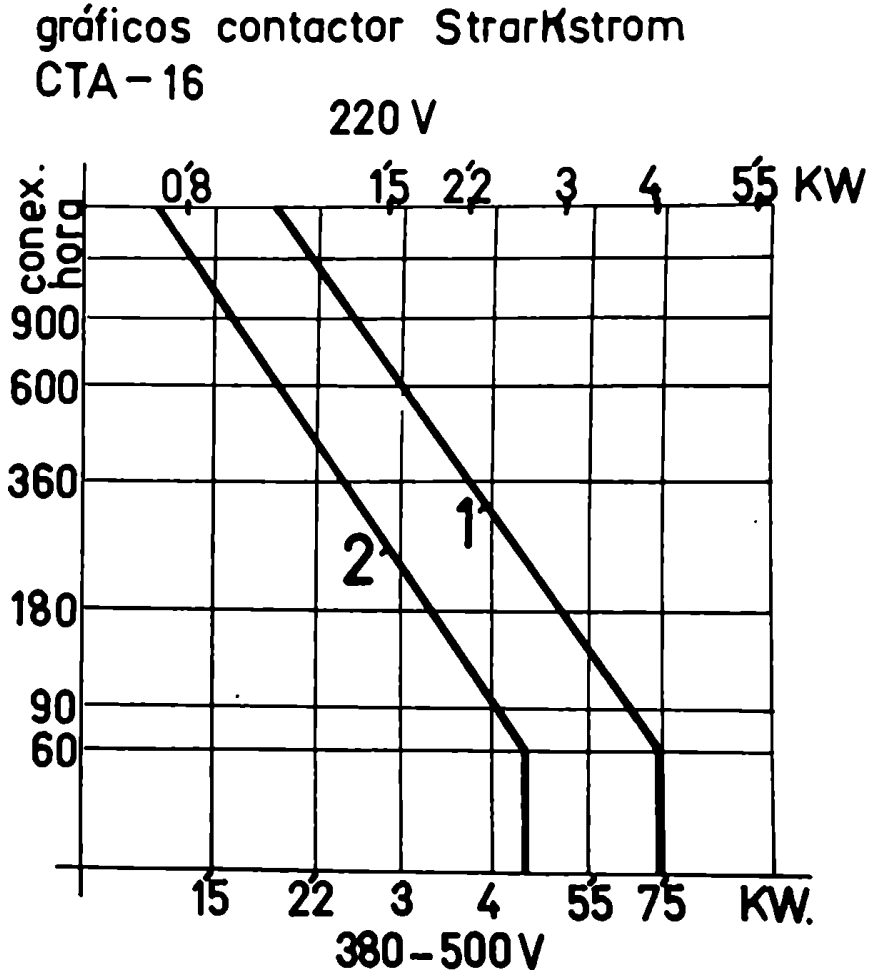


Figura 7

normalizado es el CTA-10, bobina a 220 V y 50 Hz, fusibles a 25 A y el relé protector de 8'5 ÷ 11 A.

Ejemplo práctico 2: Elección de un contactor para un motor de 4 CV a 380 V, con arranque directo y 100 conexiones a la hora, bobina a 220 V y trabajo duro. Intensidad nominal In = 6'7 A; según gráfico 2, el contactor para 100 conexiones y 4 CV corresponde ser el CTA-16. Fusibles 20 A. Relé 6'5 ÷ 8'5 A.

Ejemplo práctico 3: Elección de un contactor para un motor de 15 CV a 380 V con arranque estrella-triángulo a 50 conexiones hora y trabajo duro, intensidad normal In = 22'2 A para elección del contactor serán 22'2 × 0'58 = 12'8 A.

Según otro de los gráficos para 12'8 A y 15 CV, trabajo duro (gráfico 2) y 50 conexiones hora corresponde un ETCTA-30 A, fusibles 50 A y relé 11 ÷ 15 A.

Para la elección se parte del número de conexiones por hora representadas en el eje de ordenados y para el de abscisas la potencia en Kw, siendo 1 Kw = 1'36 CV, y el gráfico 1 o 2 se elige según condiciones de trabajo, sean normales o fuertes, respectivamente. La intersección de las coordenadas se situarán a la izquierda de los gráficos correspondientes. La figura 7 es un ejemplo para los contactores CTA-16.

Aplicaciones de los contactores

Los contactores son aparatos eléctricos cuya finalidad es la de cerrar y abrir un circuito de carga o de mando. Puede decirse que sus aplicaciones son ilimitadas, ya que intervienen en una extensa gama de automatismos, montados en simples circuitos monofásicos, bifásicos y trifásicos, de mando, etc. Los más empleados son los trifásicos, empleando tres juegos de contactos principales o de trabajo y uno o varios contactos auxiliares para el mantenimiento de bobina, enclavamiento y auxiliares de mando.

Para circuitos de baja potencia empleamos contactores y contactores protectores de pequeño calibre y arrancadores inversores para el cambio de sentido de rotación de un motor. En este caso es necesario dos contactores (véase el capítulo II).

En motores de cierta potencia y condiciones de trabajo no normal se montan tres contactores formando el arrancador llamado estrella-triángulo, y si a este se le une otro contactor más, es decir, cuatro contactores, el motor arrancará en estrella-triángulo y será a su vez inversor de rotación. Para motores de arranque en conexión Dahlander de dos velocidades, empleando tres contactores (véase el capítulo IV), montando cinco contactores en un motor de dos velocidades conexión Dalhander puede obtenerse la inversión del motor en los dos sentidos de giro y velocidad; con siete contactores un motor de cuatro velocidades puede girar en ambos sentidos. Se montan para arranque de motores por resistencias estatóricas y rotóricas, así como en arranques por autotransformador con tres contactores.

Su aplicación se extiende para servicio tanto permanente como intermitente en toda clase de motores en circuito de fuerza, alumbrado, electrodoméstico, calefacción, etc., con mando local, enclavado y a distancia.

Algunas instrucciones

El montaje del contactor debe realizarse en posición vertical, evitando cualquier movimiento y vibración en

funcionamiento. El lugar deberá ser seco, sin humedad y sin ácidos, polvos y humos. Los contactos se mantendrán limpios y los cables bien embornados.
Antes de su montaje se inspeccionarán los contactos y, sobre todo, que la tensión de la bobina corresponda a la del circuito de mando.

EL RELE DE PROTECCION

Los motores deben ser protegidos para evitar que se averíen y destruyan a consecuencia de sobrecargas de funcionamiento de corta y larga duración, de cortocircuitos, roces de rotor y estator, conexiones y contactos mal hechos, fallo de una fase, baja tensión, etc.

Esta protección puede obtenerse mediante relés térmicos, magnetotérmicos, fusibles, etc. Todo motor debe llevar para su protección un relé y un juego de fusibles; el primero protege de las sobrecargas y el segundo de los cortocircuitos, y en general, los relés controlan la corriente absorbida por el motor, disparándose si ésta aumenta por encima de ciertos límites regulados y desconectan el motor a la vez de conectar un piloto de señalización dando el aviso. El control del relé abarca a las tres fases del motor, empleando tres tiras bimetálicas en los térmicos, las cuales son calentadas directamente al paso de la corriente o mediante el calor de resistencias de calefacción, siempre que la corriente pase los límites de graduación, pues con la normal del motor no hay calentamiento del dispositivo.

En resumen diremos que el relé térmico tiene su fundamento en la deformación sufrida en unas láminas de distinto material, las que se dilatan desigualmente por poseer diferente coeficiente de dilatación y debido al calor producido por la corriente, como se ha dicho. Al curvarse las láminas bimetálicas accionan un sencillo mecanismo de palancas desconectando el contacto que abre el circuito de alimentación de las bobinas; ahora bien, mientras que pase la corriente normal del motor el calor producido es limitado, equilibrándose con el que se disipa; pero cuando la línea sufre un aumento llegando al valor prefijado, sube la temperatura curvando las láminas y dispara el relé, y el motor no se pone en marcha si no se le vuelve a rearmar, pues está bloqueado. En casos de arranques fuertes, los relés se colocan en cortocircuito mientras dura el arranque y después se incorpora al circuito de mando para seguir su cometido; de esta forma el relé quedó protegido frente a la corriente de arranque y no se dispara sin causa.

Esto debe tenerse en cuenta al proteger motores que accionan máquinas centrífugas, ventiladores, grandes volantes y elementos cuya inercia sea fuerte, pues debido al prolongado período de arranque es más frecuente el disparo del relé sin necesidad de ello, y el ajustar el relé a una corriente superior no es solución, puesto que entonces quedan anuladas sus condiciones protectoras. Lo correcto es utilizar un contactor auxiliar que mientras dure el período de arranque mantenga en cortocircuito al relé Rt, de esta forma no entrará en servicio mientras no haya terminado el arranque y el motor no haya alcanzado la velocidad de régimen.

El relé es un protector eficiente cuando se trata de proteger con sobrecargas de cierta duración o moderadas, ahora bien, no lo es ante fuertes sobreintensidades,

como cuando se producen cortocircuitos en el devanado del motor o en la línea después del relé ya que esta corriente puede anular el relé, y por ello es necesario proteger relé y contactor frente a cortocircuitos empleando un juego de fusibles montado antes del contactor, según indica la figura 8.

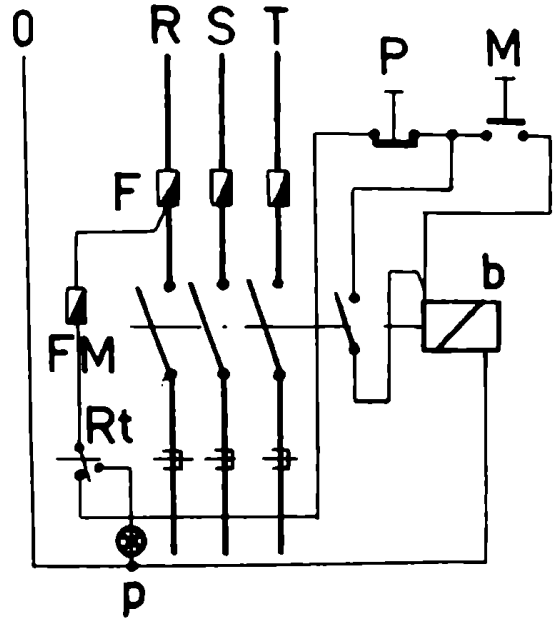


Figura 8

Siendo **F** el juego de fusibles de protección contra cortocircuitos, **FM** el fusible del circuito de mando, **Rt** el relé térmico, **p** el piloto que señaliza el disparo del relé, **b** las bobinas del contactor, **M** el pulsador de puesta en marcha y **P** el pulsador de parada, el fusible debe seleccionarse lo más bajo posible siempre que lo permita el arranque del motor y, en general, están comprendidos entre dos y tres veces la intensidad nominal del motor. Véase el dispositivo de regulación del relé térmico Starkstrom, cuyos límites son de 0'75 a 1 A en la figura 9. En la posición actual marca la mínima regula-

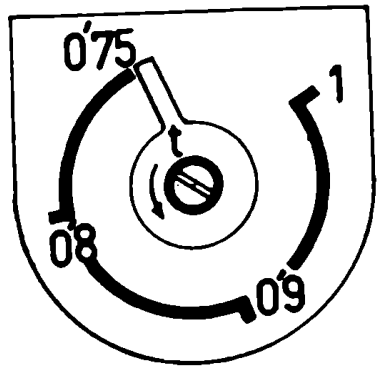


Figura 9

ción 0'75 A, si lo giramos como indica la flecha en el sentido de mayor regulación hacia **1** emplearemos el tornillo **t**. Para un motor de 0'8 A de intensidad nominal, el índice lo llevaremos a 0'8 del relé. Para valores superiores a 100 A de fase no se recomienda el empleo de relés conectados directamente a línea; en estos casos se emplea un transformador de intensidad, cuyo primario es recorrido por la intensidad de fase y el secundario conecta el relé a una intensidad muy baja, según relación de construcción.

Generalmente la conexión del relé térmico para proteger un motor se realiza después del contactor. Cuando se trate de un solo contactor, esto es correcto; cuando se trate de dos contactores de inversión, debe ase-

gurarse que la conexión sea común para los dos; pero cuando un motor para su arranque necesita tres contactores en estrella-triángulo, debe montarse detrás del contactor de trabajo por resultar la protección más eficaz, y la corriente para su elección no será la del motor, sino la que corresponde al triángulo, la que pasa por una fase que es simple, es decir, $I_r = \frac{In}{\sqrt{3}} = 0'58\ In$, siendo I_r la que sirve para calcular el relé e In la nominal; por ejemplo, para un motor de 20 CV a 380 v con intensidad nominal 30 A y arranque estrella-triángulo, la intensidad base para elegir el relé será $0'58 \times 30 = 17'4$ A, que según tablas del libro será un relé Starkstrom 15 ÷ 20 A o un relé Agut RTH-20, 14-26 A, ambos térmicos.

Los relés térmicos deben permitir el arranque del motor, claro está, en condiciones normales sin dispararse, y no lo hará tampoco mientras que la intensidad sea la normal; el disparo deberá realizarse ante una sobrecarga mantenida y antes de llegar al tiempo que represente un peligro por el calentamiento del motor. Según la sobrecarga del % del relé debe disparar en razón directa: a más sobrecarga, disparar antes; por ejemplo, con un 40 por 100 sobre la intensidad nominal un motor se quema a los diez minutos y el relé debe disparar a los 1'2 minutos (véase el gráfico en la sección de tablas que se refiere al tiempo máximo de sobrecarga de un motor en función de la sobreintensidad, correspondiente al cursillo de iniciación al automatismo de Starkstrom).

En el circuito de carga de un motor son necesarios dos elementos de protección, los fusibles y los relés térmicos, magnetotérmicos diferenciales, etc.; los fusibles se dimensionan correctamente para que, llegado el caso de producirse un cortocircuito, se fundan cortando la alimentación y evitar una avería en el contactor, en el relé y aun en el motor. Si no hubiera fusibles calibrados se produciría la avería antes dicha, además protegen contra sobrecargas cuyo valor están por encima de su calibre, que es de dos a tres veces la intensidad normal. El relé protege sólo contra sobrecargas cuyo valor están por encima de su calibre, que es de dos a tres veces la intensidad normal. El relé protege sólo contra sobrecargas mantenidas entre los límites de su regulación y el calibre de los fusibles. Su ajuste se ha dicho es la intensidad nominal del motor.

Agut ofrece una nueva serie de relés térmicos de protección de motores mediante disparo diferencial con su tipo RIK. Cuando un motor está conectado en triángulo y una de las fases falle, los tres devanados del motor quedan con consumo desequilibrado, de tal forma que uno de los tres aumenta con una sobrecarga, mientras que los otros dos, unidos en serie, disminuyen la corriente. Para un aumento de línea del 4 por 100 corresponde en el devanado más sobrecargado un aumento del 20 por 100, como se ve desproporcional, tal que el relé que está en línea no dispara con el 4 por 100, mientras que el devanado con el 20 por 100 se quema (véase la tabla que relaciona las sobrecargas de línea y los devanados).

Si un motor en triángulo (figura 10, detalle (a)) consume por fases 100 A, los devanados llevarán $100/\sqrt{3} = 58$ A cada una en trabajo normal, al fallar una fase como se dijo, las dos restantes se ven sobre-

cargadas y, en consecuencia, un devanado se sobrecarga según porcentaje de la tabla; en ella vemos que para un aumento del 50 por 100 en línea, el devanado más sobrecargado lo hace en el 73 por 100 al pasar de 58 A de consumo a los 100 A.

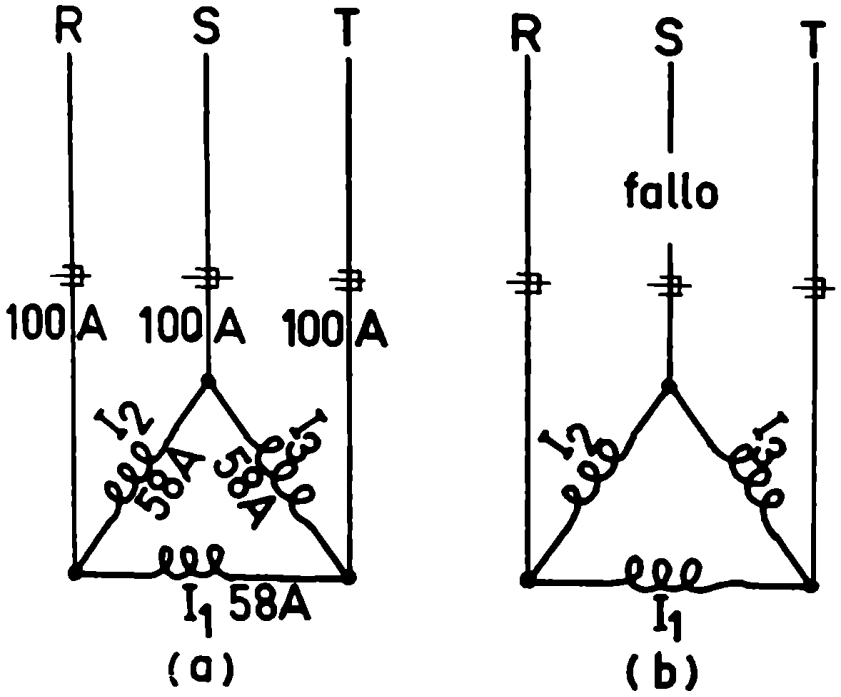


Figura 10

Relaciones entre la corriente de línea, corriente del devanado más sobrecargado del motor y de los dos restantes unidos en serie al fallar una fase en conexión triángulo:

Corriente I_1 en el devanado más sobrecargado en serie		Corriente $I_2 = I_3$ en los dos devanados en serie		Corriente en dos fases R y T de alimentación	
A	% de sobrecarga	A	% de sobrecarga	A	% de sobrecarga
100	73	50	— 18	150	50
86	50	43	— 25	129	29
69	20	35	— 41	104	4
67	16	33	— 43	100	0
58	0	29	— 53	85	— 15

Estos relés diferenciales se dividen en tres gamas que protegen en los contactores **K, G** y **GR**, siendo:

El tipo RIK-39 con regulación hasta 30-48 A.
El tipo RIK2-143 con regulación hasta 110-176 A.
El tipo RIK3-2150 con regulación hasta 1.700-2.600 A.

En este último tipo lleva incorporado un transformador de intensidad.

Para sobrecarga asimétrica se produce el disparo, aunque el relé estuviese tarado por encima del valor correcto, pues en este caso es independiente del tope de regulación. Para carga simétrica actúa normalmente según el comportamiento del relé térmico. Lleva diferentes reglillas para uno y otro disparo térmico diferencial.

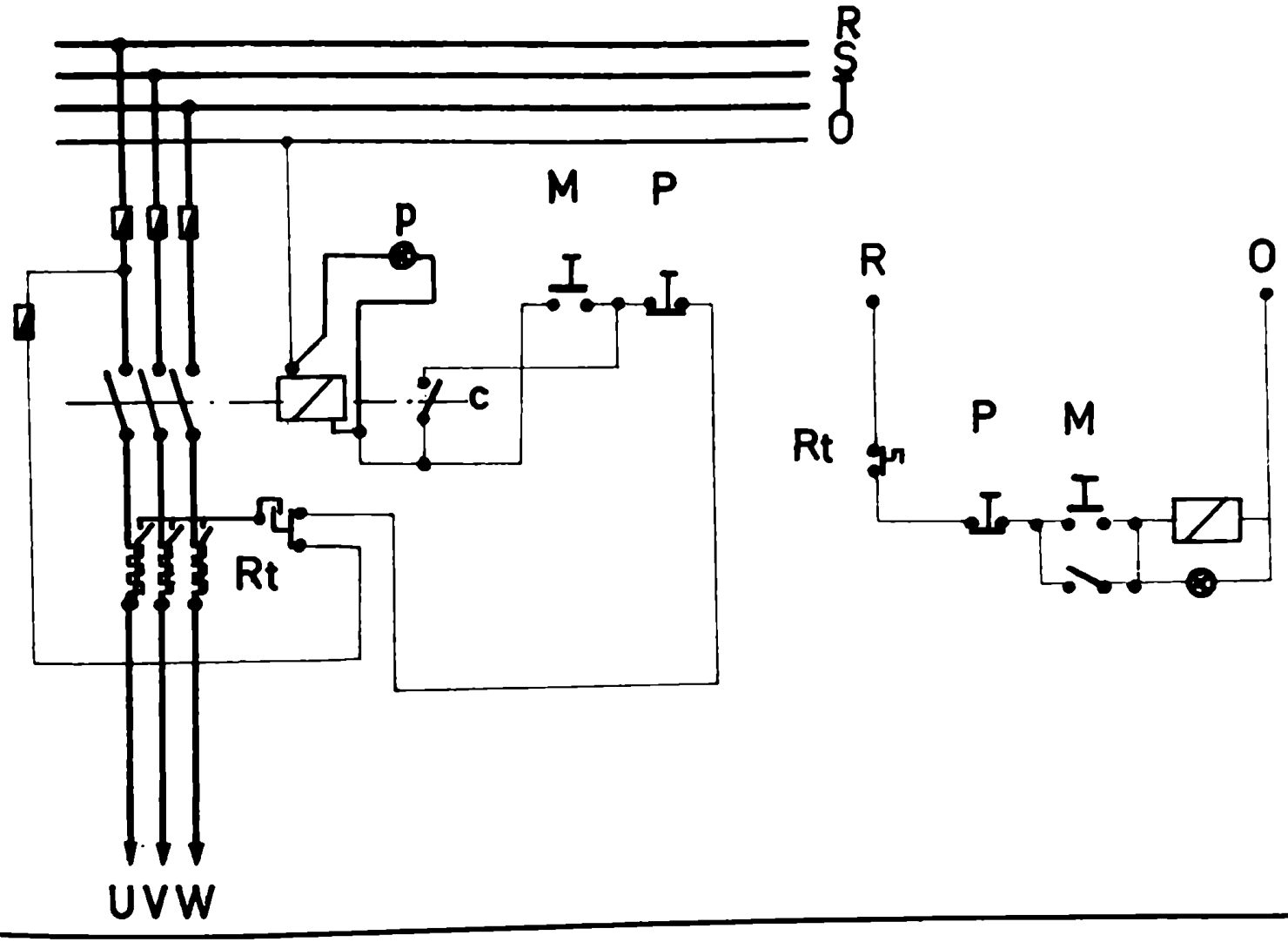
MECANISMO DE UN CONTACTOR

Todo motor conectado a una línea de fuerza necesita, para su puesta en marcha y parada, que la línea se una e interrumpa entre la red y el motor. Durante muchos años se emplearon interruptores a mano, generalmente de palanca; pero con la aparición del contactor se dio un gran paso en la automación de los motores: con estos contactores podemos poner en marcha y parar las máquinas desde cualquier punto por distante que se encuentre, con seguridad y rapidez.

Así que un contactor no es más que un interruptor que cierra o abre los contactos que unen la red con el motor y accionado desde un punto cualquiera se conecta y se vuelve a desconectar. Estas acciones se consiguen en los contactos al excitar una bobina. Al mandarle una corriente, una diferencia de potencial de 24 V, 127 V, 220 V o 330 V, etc., esta corriente crea un campo magnético en el núcleo que hace de electroimán atrayendo una armadura, y ésta, a través de otras piezas secundarias, hacen que los contactos se desplacen pegándose a los contactos fijos, quedando el circuito cerrado. Este efecto electromagnético de atracción cesará cuando deje de pasar corriente por la bobina y abrirá el circuito, lo cual será a voluntad del operario con sólo pulsar un botón e interrumpir la corriente de alimentación de la bobina.

Al pulsar en M la corriente fluye desde la fase R, pasando por el relé térmico de protección **Rt**, por el pulsador de paro **P**, por el **M** que hemos pulsado y por la bobina, cerrando circuito con el neutro de la instalación; entonces la bobina actúa cerrando el circuito, pero al dejar de pulsar **M** se cortaría la corriente, si no fuese porque un contacto auxiliar **c** le cierra la bobina, quedando en paralelo con el de puesta en marcha **M**, realimentándose por él. Para parar se pulsa en el pulsador **P** y el contactor abre el circuito. Al lado se representa únicamente el circuito auxiliar de mando. El piloto **p** señaliza el funcionamiento o parada.

MECANISMO DE UN CONTACTOR



ESQUEMA DE MANDO DE UN CONTACTOR

Muchas veces los esquemas en automatismo en general, en vez de representarlos con todo el circuito de carga y de mando en un solo esquema, es decir, en conjunto, suele representarse solamente los elementos de mando, como en el presente.

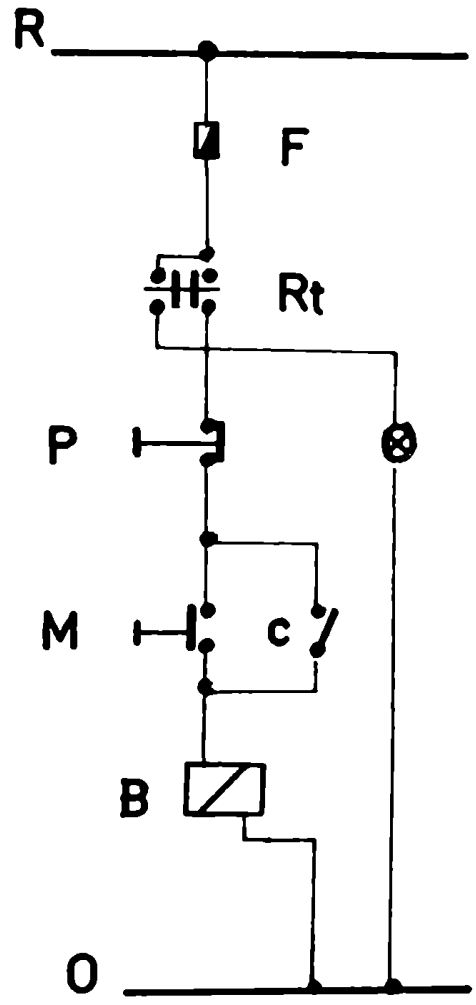
Todos los elementos se representan en circuitos verticales unidos entre fases o fase y neutro. Para representar todos los elementos de mando de un contactor haremos primero reseña de ellos por orden:

Fase **R**
Fusible calibrado de mando **F**
Relé térmico de protección **Rt**
Piloto señal disparo del relé
Pulsador de paro **P**
Pulsador de puesta en marcha **M**
Contacto de permanencia **C**
Bobina de accionamiento **B**
Neutro **O**

Para poner en marcha el motor, pulsamos en el botón o pulsador **M** de puesta en marcha; instantáneamente damos paso a la corriente, que ve cerrado un circuito, pasando desde la fase **R**, fusible **F**, relé térmico u otro tipo de relé, pulsador de paro **P**, pulsador de marcha **M**, bobina **B** y neutro. Cuando pulsamos la puesta en marcha **M**, sabemos que es sólo un instante, pero el suficiente para que la bobina genere un campo magnético de atracción, cerrando los contactos principales y los auxiliares que pueda tener, bien abiertos y abriendo los cerrados en reposo. Como ocurre con el **c**, éste se cerró, y como queda derivado con el de puesta en marcha, nos asegura la alimentación de la bobina al dejar de pulsar; esto lo llamamos de permanencia o realimentación o mantenimiento.

Para la desconexión del contactor, lo que equivale a parar el motor, pulsaremos el de paro **P**, que nos corta la alimentación de la bobina del contactor y abre el circuito de trabajo. El piloto señal de disparo del relé sólo lucirá cuando aquél dispare a consecuencia de una sobreintensidad.

ESQUEMA DE MANDO DE UN CONTACTOR



Piloto señal disparo del relé térmico

Contacto de permanencia

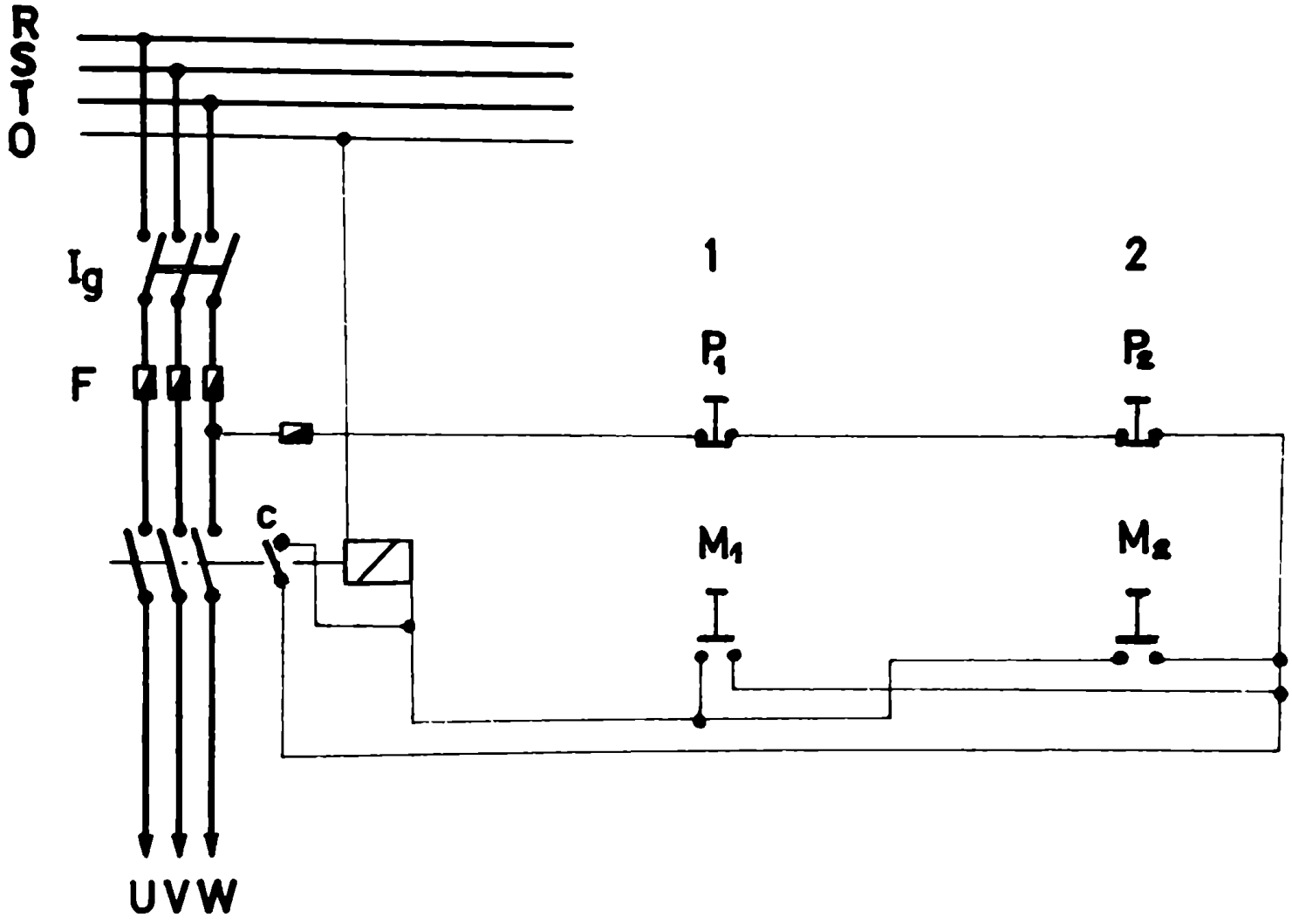
Bobina de excitación

CONTACTOR CON DOS MANDOS A DISTANCIA

El uso de los contactores es muy amplio, puesto que permite una gama de aplicaciones muy amplia, unas veces empleando un solo contactor, otras dos, tres y más en una sola maniobra. Podemos citar que para el movimiento de un motor con un solo contactor, accionaremos aquél desde varios puestos, situados en sitios distintos; igualmente empleando dos contactores se podrá invertir a voluntad el giro de rotación; empleando tres contactores se arrancan motores de mayor potencia, etc.

En el presente caso que nos ocupa disponemos de la instalación de una máquina acoplada a un motor sin protección de relés, solamente con un juego de fusibles calibrados; este caso sin relé puede hacerse con fusibles si la potencia es pequeña, debido a que el arranque es suave y los fusibles pueden ajustarse a la corriente nominal del motor. Disponemos de dos juegos de pulsadores de puesta en marcha y paro situados en dos lugares cercanos o distantes, según las exigencias de su trabajo; como puede comprenderse, pueden estar junto o no a la máquina, siendo ello una gran ventaja para el accionamiento posible a distancia. Vamos a ver su funcionamiento: cuando interese accionar la máquina desde el punto de **1** se pulsa el botón M_1, la corriente circula desde la fase **T** pasando por el fusible general, el de mando, pulsadores de paro P_1 y P_2 por el pulsador accionado, llegando a la bobina y saliendo para cerrar circuito por el neutro; al dejar de pulsar M_1, éste se abre, porque retorna a su posición de reposo; pero como el contacto auxiliar se cerró, ocurre que la alimentación de la bobina queda sostenida por dicho contacto auxiliar **c**. En cuanto a la parada puede realizarse independientemente con P_1 o con P_2, con lo que la bobina dejará de ser excitada y, abriendo los contactos del contactor, parará el motor. Para la puesta en marcha desde el punto **2** se realiza exactamente igual que con el anterior pulsando en M_2.

CONTACTOR CON DOS MANDOS A DISTANCIA



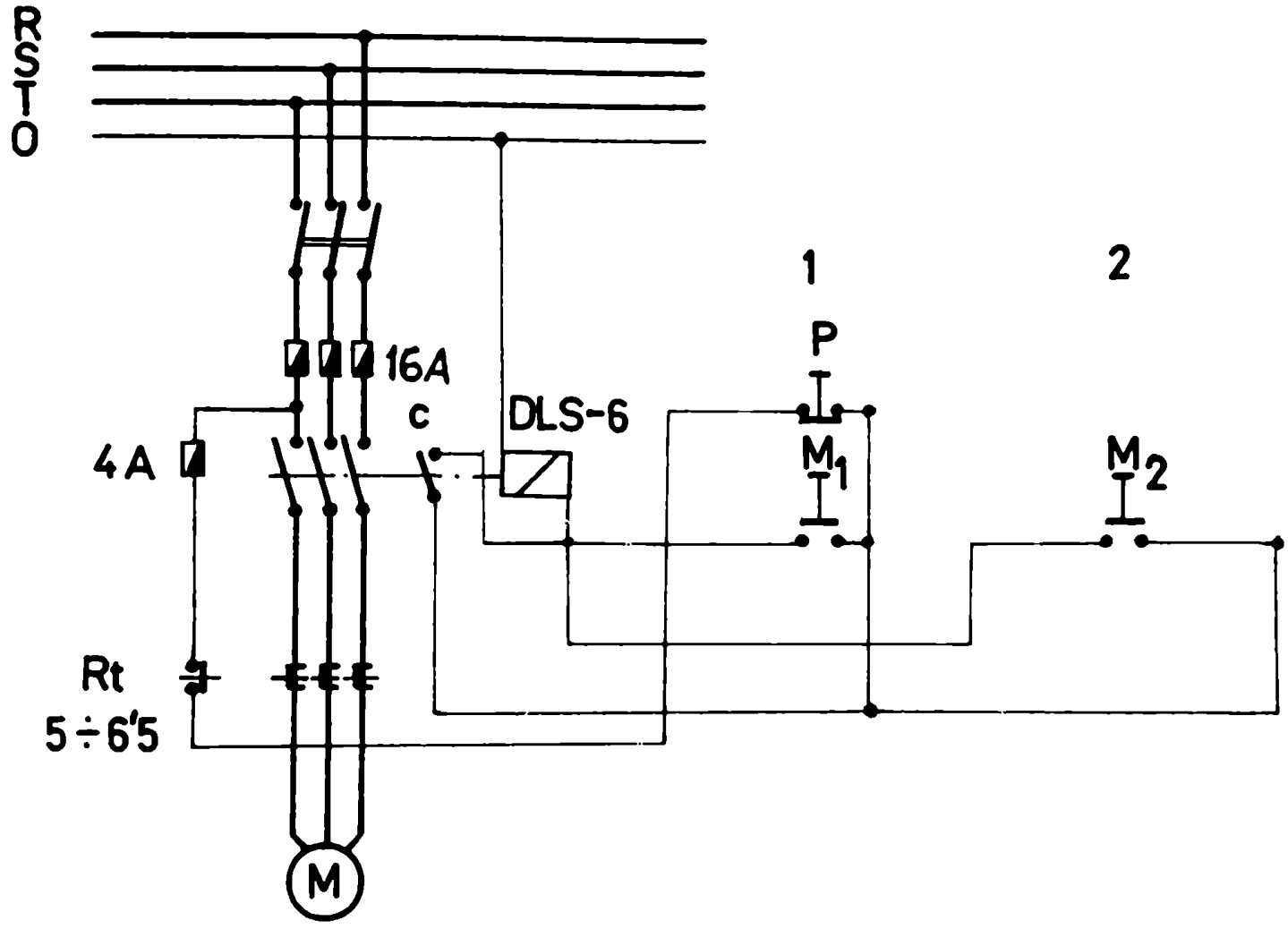
MANDO DE UN CONTACTOR A DISTANCIA

En el esquema anterior se ha hablado de la instalación de un motor sin protección de relé, sólo con fusibles; en éste se trata de una variante, con la diferencia de que si la protegemos con relé, también posee la diferencia de poder ponerse en marcha desde dos puntos diferentes; pero, así como en el anterior se paraba también desde los dos, aquí sólo se para desde el punto **1**, como veremos.

Primero hablaremos del relé de protección. Supongamos el caso de que el motor es de 3 CV a 380 v entre fases; la corriente nominal del motor de estas características es de 5'1 A, con un factor de potencia cos $\varphi = 0'8$; el contactor elegido para este motor será del tipo DLS-6 para arranque directo, con un relé de protección cuya regulación se limita entre 5 a 6'5 A de la marca Starkstrom; los fusibles serán calibrados a 16 A y el fusible de mando de 4 A; la corriente de disparo en el relé se graduará a la nominal del motor 5'1 A, y, caso que el tipo de arranque fuere con carga lenta y disparara, se le sube un poco, por ejemplo, a 5'5 A.

Desde el punto **1** podrá ponerse en marcha pulsando en M_1; al soltarlo, el mantenimiento de la bobina se realiza por el contacto de permanencia **c**; para pararle se pulsará en **P**; si la puesta en marcha se desea desde otro lugar, por ejemplo, en **2**, se pulsará en M_2, e igualmente que antes, al soltar el pulsador la bobina se sigue alimentando por el contacto de permanencia **c**; se parará como antes con el pulsador **P**. Si se desean dos puntos de paro se realiza el esquema anterior.

MANDO DE UN CONTACTOR A DISTANCIA

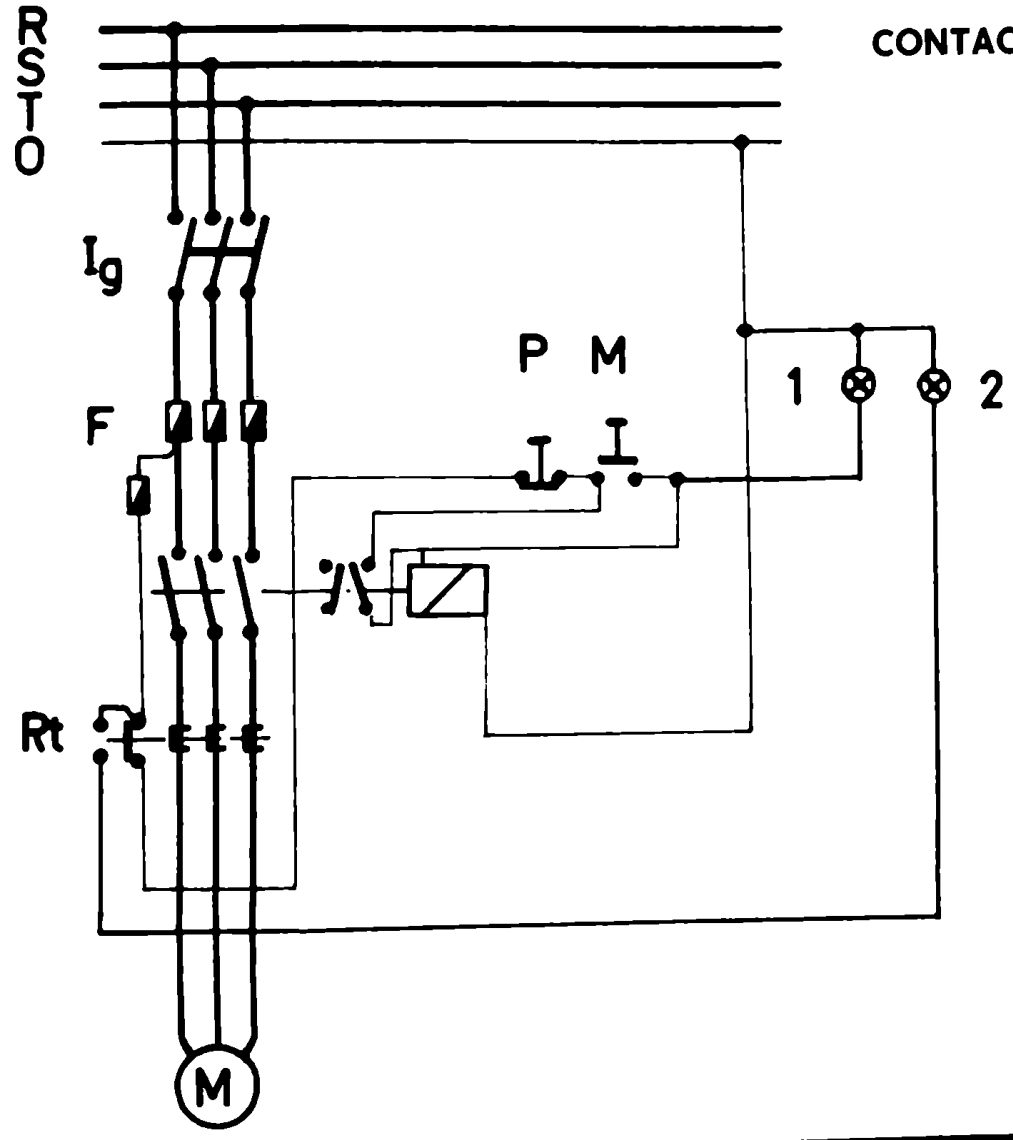


3 C.V. 380 V. 5'1 A. cosφ = 0'8.

CONTACTOR CON PILOTOS DE SEÑALIZACION

Todo motor instalado con puesta en marcha y paro a través de un contactor debe de quedar señalizado. No es completo el automatismo si no se cumple la señalización del estado en que se encuentra la instalación, puesto que la maniobra de marcha y paro serán correctas, pero falta un control, una señal, por ejemplo, a distancia del motor que se encuentra en otra planta, no sabiendo si éste pudo pararse o no llegó a ponerse en marcha. Estas dudas y control del funcionamiento de una máquina automatizado con mandos a distancia quedan resueltas en un contactor montando dos pilotos llamados de señalización, cuya misión es la siguiente: Si desde el puesto de mando, pupitre, sala de control, etcétera, ponemos en marcha el motor pulsando en **M**, pudiera ocurrir que por avería del motor, por estar bloqueado el relé u otra causa, no se pusiese en marcha el motor; ahora bien, si con la bobina de mando del contactor montamos en paralelo el piloto de señalización **1**, ésta lucirá mientras el circuito esté cerrado y, por lo tanto, en trabajo. El otro piloto nos indica que si el motor ha sufrido una sobrecarga y el relé de protección ha disparado para abrir el circuito de trabajo parando el motor, entonces se enciende éste, el **2**, dando la señal óptica; así se sabe que el motor o máquina se ha parado por disparo del relé, lo que debe averiguarse es si la causa del disparo de la sobrecarga es debida a un rodamiento del motor averiado, roce, aumento del par resistente de la máquina, variación de la tensión de red, fallo de una fase, etc.

CONTACTOR CON PILOTOS DE SEÑALIZACION



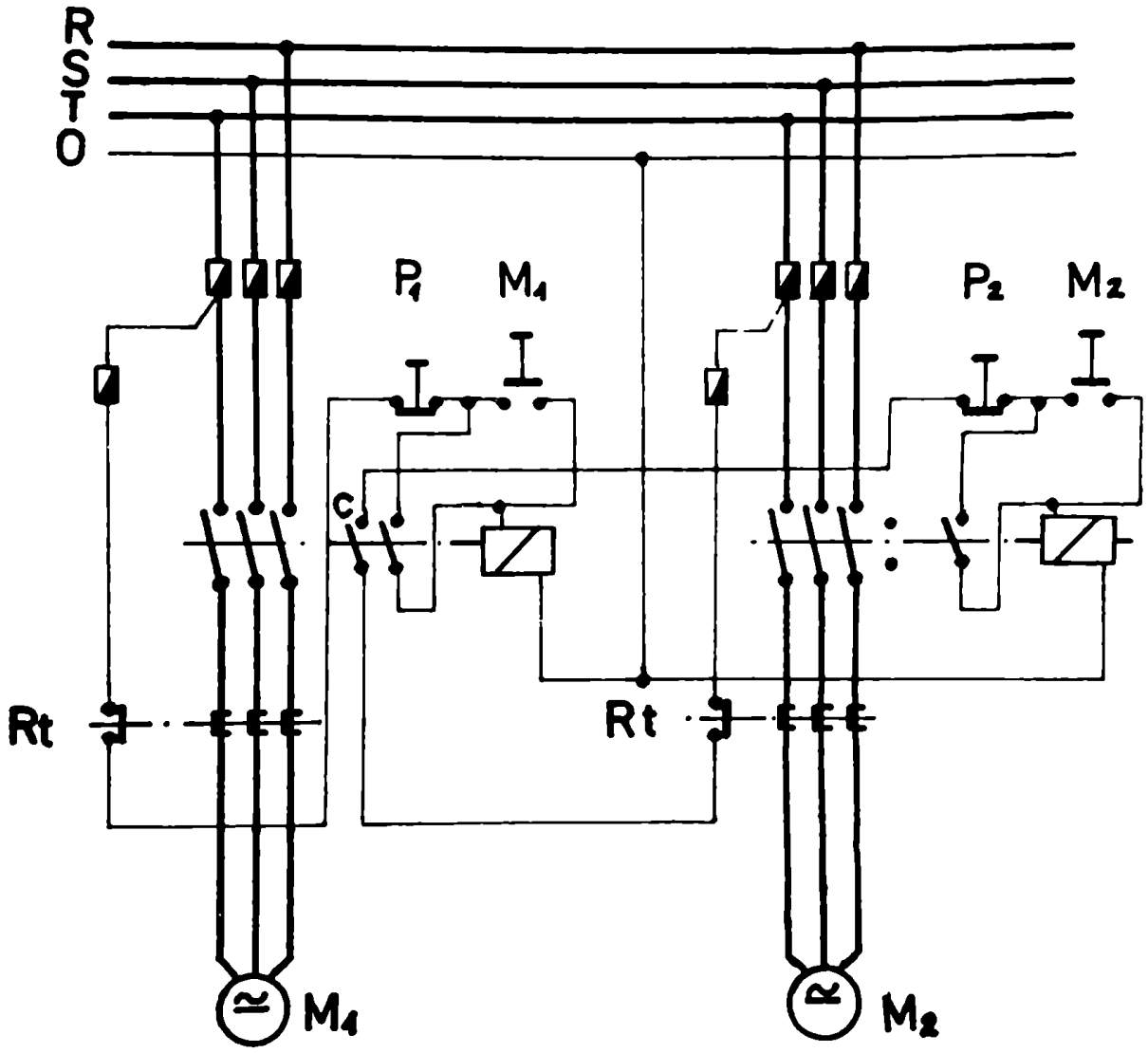
1 piloto encendido con motor en marcha

2 piloto encendido al disparar el relé

ENCLAVAMIENTO DE DOS MOTORES

Enclavar en electricidad, y más propiamente dicho en automatización, significa abrir un camino, un circuito, por el que no haya posibilidad de que la corriente eléctrica pueda pasar si el elemento sigue cometiendo su función de enclavamiento y sólo podrá hacerlo cuando se desenclave, es decir, se deshaga la combinación hecha.
En los contactores se dijo que pueden poseer, en primer lugar, tres contactos o juegos de contactos principales de trabajo, y uno, dos o más juegos de contactos secundarios, llamados auxiliares, que se pueden combinar: todos abiertos, en reposo, que se cierran al excitarse la bobina; todos cerrados, en reposo, que se abren igualmente al exitarse la bobina, o bien puede disponerse indistintamente de abiertos y cerrados en igual o en distinto número.
Con ello el campo de aplicación del contactor o combinación de contactores es muy amplio; en el caso que nos ocupa, del enclavamiento de dos motores, conseguimos la imposibilidad de poner en marcha el motor número **2** si no se puso previamente antes en marcha el número **1**, puesto que el circuito de mando del **2** pasa, después del relé de protección, por un contacto **c** del contactor del motor **1** y no podrá ponerse en marcha por estar abierto mientras el contactor **1** no actúe, por lo que el **2** queda enclavado, condenado a no funcionar; pero en cuanto pulsemos en $\mathbf{M_1}$ el contacto **c** se cierra y el enclavamiento se deshace, quedando el motor **1** en marcha y el **2** en condiciones de ponerse cuando se pulse en $\mathbf{M_2}$ su pulsador de puesta en marcha. Ahora bien, el motor **2** se podrá parar siempre sin afectar al **1**; en cambio, si paramos el **1**, al pulsar en $\mathbf{P_1}$ se paran los dos a la vez.

ENCLAVAMIENTO DE DOS MOTORES



ESQUEMA DE TRES MOTORES ENCLAVADOS

Vimos en el esquema anterior el enclavamiento de dos motores; ahora nos toca examinar el comportamiento de tres motores igualmente enclavados, y así también podríamos obtener un número indeterminado de motores que según exigencias en potencias, en función de su cometido en procesos de fabricación, etc., se instalarían.

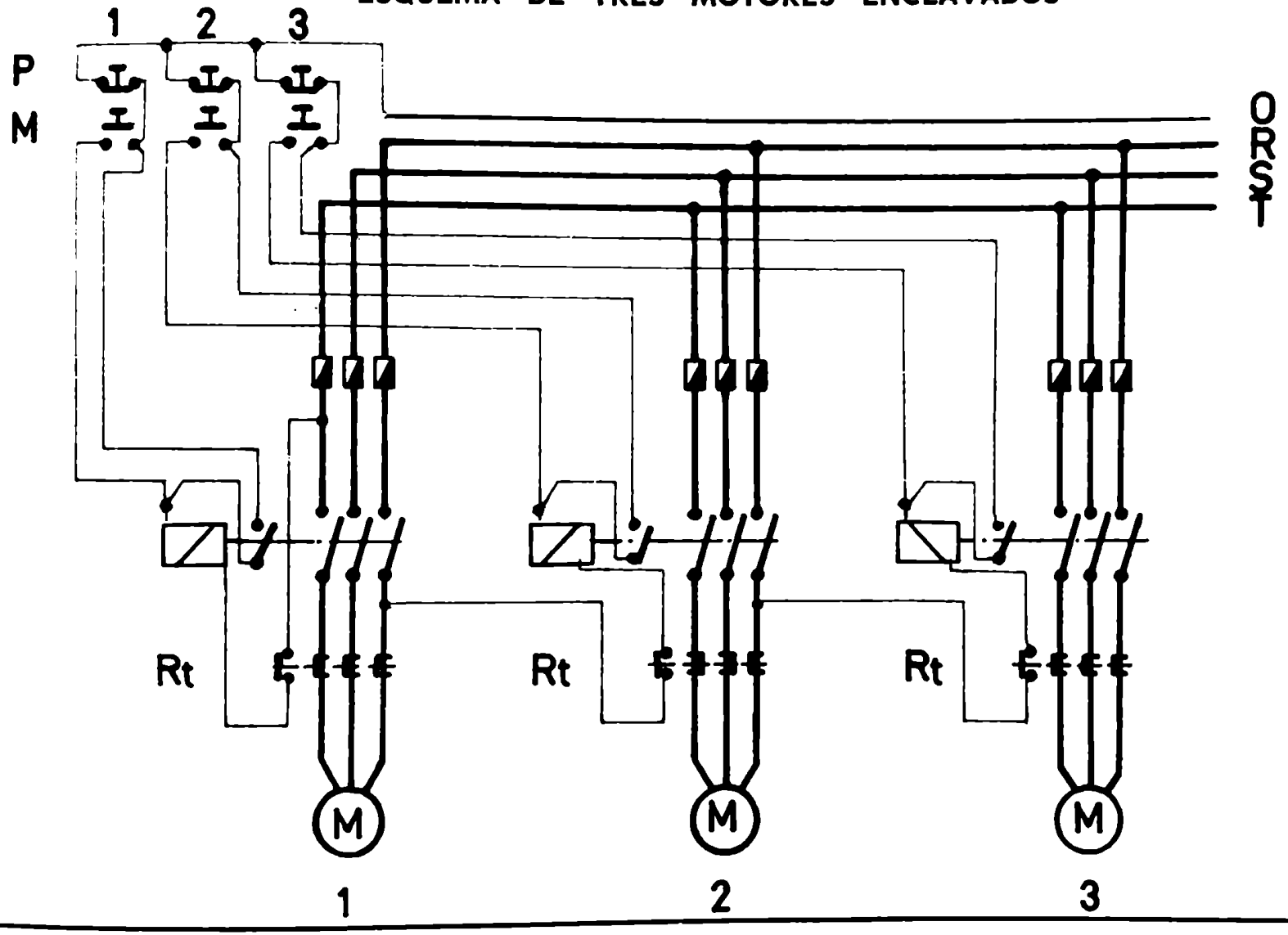
Disponemos de tres motores conectados a través de sus respectivos contactores y juegos de fusibles a una red trifásica; cada uno lleva montado el relé de protección **Rt** y también dos pulsadores **P** y **M** de paro y puesta en marcha independientes.

Veamos el comportamiento de estos tres motores:

El motor **3** no puede ponerse en marcha porque su circuito de mando está conectado a la fase **R** del motor **2** después del contactor y éste está abierto; luego queda enclavado con el **2**, y aunque pulsemos su botón de marcha **M-3** no responde hasta que el **2** esté en funcionamiento; por otra parte, el motor **2** tampoco podrá funcionar; le ocurre lo mismo respecto al **1**: queda enclavado con él. En ambos casos no se han empleado contactos auxiliares de enclavamiento sino después de los contactores.

Si pulsamos el **M-1** el motor **1** arranca, y queda alimentado por su contacto auxiliar de permanencia; es el momento en que puede ponerse en marcha el **2** al pulsar el **M-2**, quedando también la bobina del contactor alimentado por el contacto de permanencia, y por último se puede poner en marcha el motor **3** al pulsar en **M-3**. Para parar los tres a la vez basta con pulsar en **P-1** si se desea parar sólo el **2**, y el **3** se pulsa en **P-2** o para parar el **3** sólo al pulsar en **P-3**. Sentido de marcha individual de **1-2-3** y de parada individual de **3-2-1**.

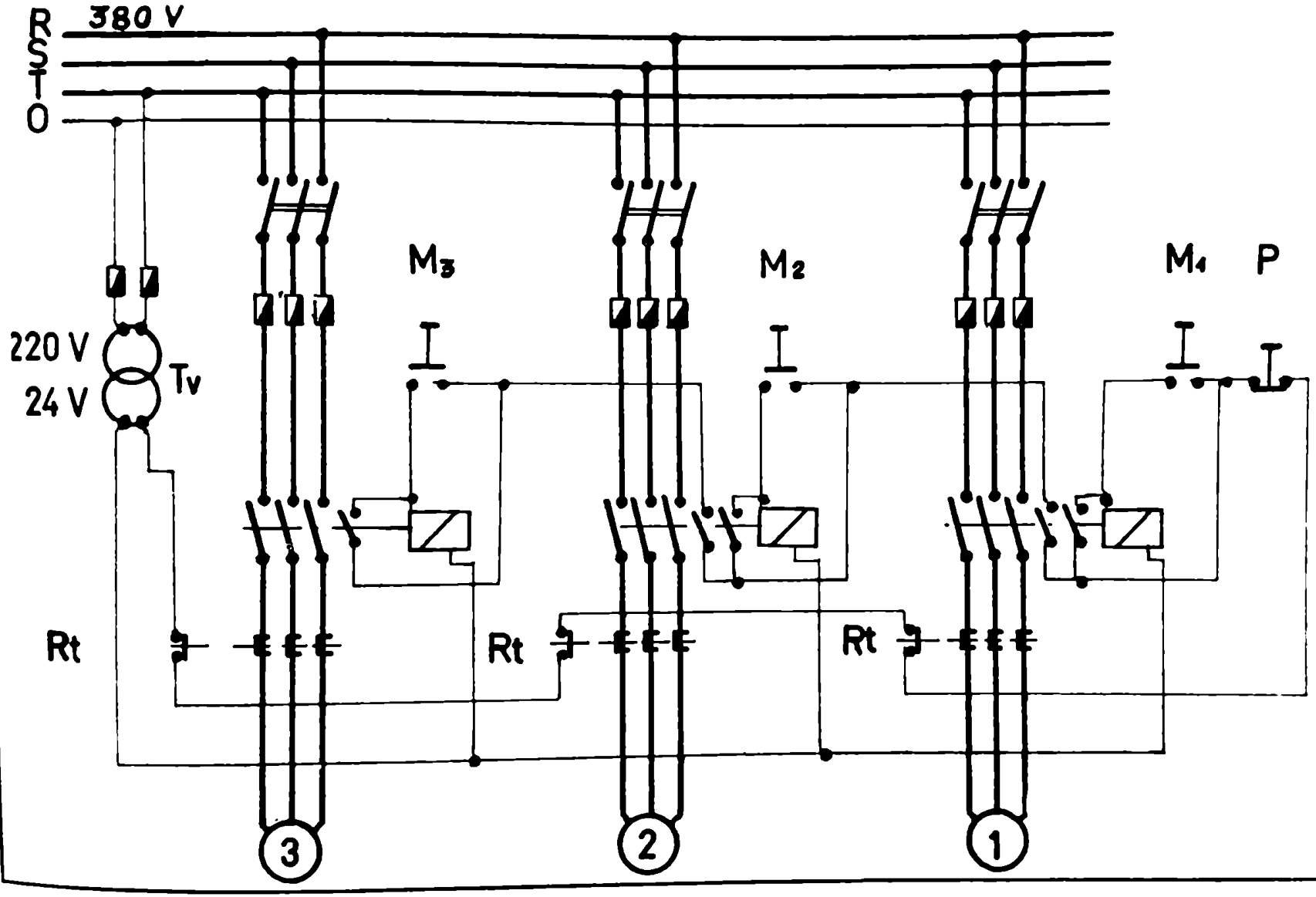
ESQUEMA DE TRES MOTORES ENCLAVADOS



MOTORES ENCLAVADOS

En este esquema se obtiene prácticamente el mismo resultado que en el anterior; pero existen diferencias en su enclavamiento y circuitos de mando.
En primer lugar, el circuito de mando se alimenta por transformación de la tensión, es decir, un transformador reduce la tensión de fase y neutro de 220 v a 24 v, que será la aplicada a las bobinas de los contactores. Luego están dispuestos los relés **Rt** de protección en serie todos ellos, lo que facilita su utilización para ciertos usos industriales; pues, si en una máquina con tres motores uno cualquiera de ellos sufre una avería o sobreintensidad dispara su relé parando todo el sistema, utilizado en máquina con dos, tres o más motores en los que hay elementos, primero, de prensado, trituración, laminado, grúas, etc., y otros que hacen de alimentadores, así si el motor principal se para lo hará el de alimentación; en caso contrario la avería sería de consecuencias mayores. Por ejemplo, en el conjunto de una cinta transportadora y un elevador, si la cinta alimenta al elevador y éste se para, la cinta —de seguir en marcha— seguiría echando lo que transportara sobre el elevador, preparando un gran atasco.
Otra diferencia es la alimentación de cada bobina, ya que se realiza a través de un contacto auxiliar del contactor, anterior; así, el motor **2** podrá funcionar solamente después de que lo haga el **1**, y el **3** después que arranque el **2**; de esta forma el **3** queda enclavado con el **2** y éste con el **1**, resultando que el **2** y el **3** quedan enclavados por el **1**.
En cuanto se refiere a pararlos se pararán siempre los tres a la vez, puesto que sólo existe un pulsador de parada, el **P**, que corta la alimentación de los tres; ahora bien, puede estar en marcha solamente el **1** o el **1** y el **2** o los tres pulsando, respectivamente, M_1-M_2-M_3.

MOTORES ENCLAVADOS



ESQUEMA FORMADO POR TRES CONTACTORES

Disponemos de una entrada de corriente alterna trifásica y neutro **R, S, T** y **O** en bornas de una regleta y queremos instalar tres motores totalmente independientes entre sí, cada uno podrá ponerse en marcha y pararse sin relación con los otros.

En primer lugar disponemos de un interruptor Ig y tres líneas calibradas según carga de cada motor, con sus fusibles calibrados también, tres contactores, cada uno para la carga según motor y tres relés de sobreintensidad. Aparte de una botonera se disponen de tres juegos de pulsadores marcha y paro, cada contactor llevará un contacto auxiliar abierto en reposo para la alimentación de la bobina correspondiente.

Supongamos que uno de los tres motores es de 3 CV a 380 V arranque directo, trabajo bastante continuo, bobina alimentada a 220 V entre fases y neutro. La corriente nominal es de 5'1 A el contactor elegido sería el DLS-6 A a 220 V y los fusibles serán de 16 A. Este motor es de rotor en cortocircuito dada su potencia.

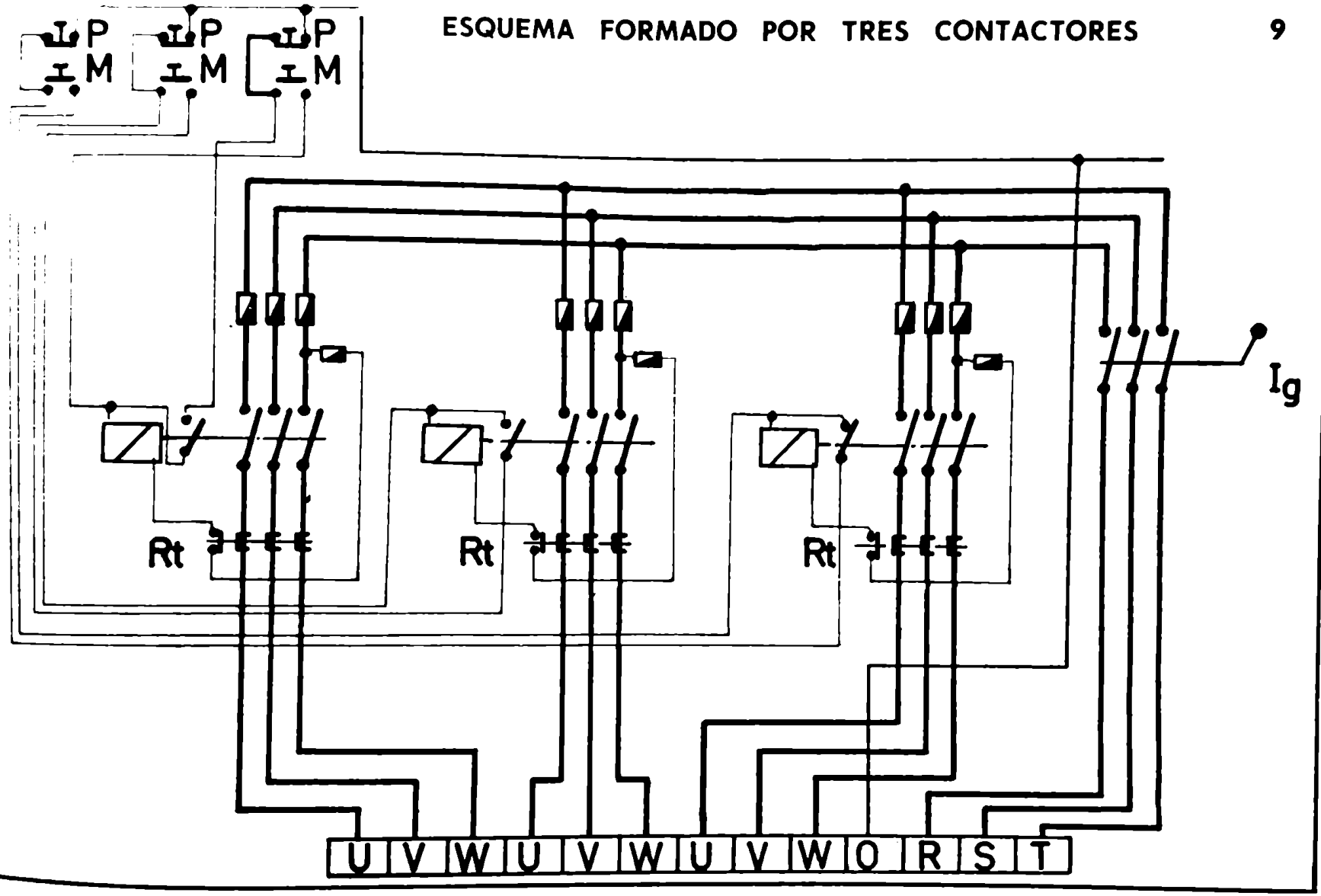
Para la elección del contactor se tuvo en cuenta la tensión de red, no la de bobina, la potencia o carga del motor, arranque directo y clase de trabajo, bastante continuo con carga normal, si el arranque fuera muy intermitente se eligiría un contactor de mayor capacidad según sus gráficos de conexiones y desconexiones por hora.

El relé térmico tendrá una regulación de 5-6'5 A límites entre los cuales está la corriente del motor. La línea de este motor puede colocarse un conductor de 2'5 mm^2 de sección, dando una densidad de

$$\sigma = \frac{I}{S} = \frac{5'1}{2'5} = 2 \text{ A/mm}^2,$$

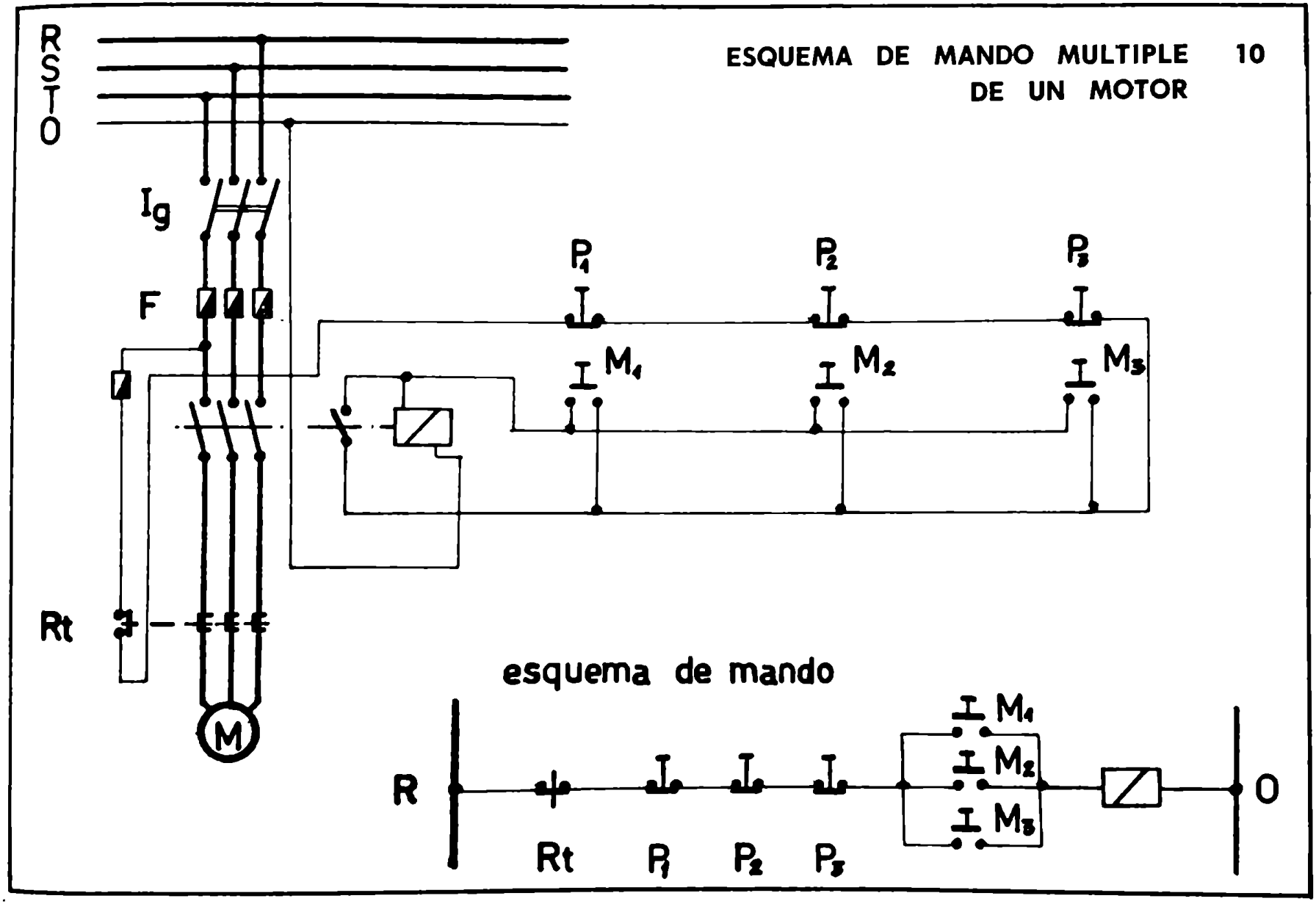
muy por debajo del límite establecido por el reglamento.

ESQUEMA FORMADO POR TRES CONTACTORES



ESQUEMA DE MANDO MULTIPLE DE UN MOTOR

Se dijo, anteriormente, que en la automatización de un motor empleando contactores se puede maniobrar cualquier tipo de máquinas desde varios puntos por distantes que se encuentren empleando tantos juegos de pulsadores marcha paro como se deseen.
En el esquema se representa la instalación de un motor trifásico con arranque normal por contactor y mandos a distancia en número de tres, en primer lugar para aislar toda la instalación existe un interruptor general **Ig**, un juego de fusibles **F** calibrados contra cortocircuitos o grandes sobrecargas, al contactor elegido según potencia y características del motor, con sus juegos de contactos en este caso tres de trabajo y uno de autoalimentación de la bobina. El circuito de mando está representado dos veces, una formando el esquema general y otra el esquema únicamente de mando, en éste se ven que los pulsadores de paro **P** van conectados los tres en serie conjuntamente con el contacto del relé, cualquiera de los cuatro que se abra parará el motor, mientras que los pulsadores de puesta en marcha M los tenemos en derivación o paralelos, al pulsar cualquiera de ellos desde el punto de su instalación el motor se pondrá en marcha, éste esquema de mando da una visión más clarividente del comportamiento de sus elementos eléctricos, mientras que en el conjunto es más enredoso por tener que seguir los hilos en todo su circuito, la puesta en marcha podrá realizarse desde cualquier punto de los tres y el paro igualmente, hay una independencia absoluta de la puesta en marcha y paro.
Si este motor tiene una potencia de 5'5 CV a 220 V su intensidad será de 15 A con un factor de potencia cos $\varphi = 0'82$ el contactor apropiado será imponiendo 50 maniobras por hora con **GR** calibre 1 de 16 A tipo Agut y un relé de protección tipo RTH 21-20 con regulación 14-16 A. Los fusibles principales serán de 35 A y el de mando de 4 A.


ESQUEMA DE MANDO MULTIPLE 10
DE UN MOTOR
R
S
T
O
Ig
F
Rt
M
P1
P2
P3
M1
M2
M3
esquema de mando
R
Rt
P1
P2
P3
M1
M2
M3
O

INSTALACION DE DOS MOTORES Y UN MANDO

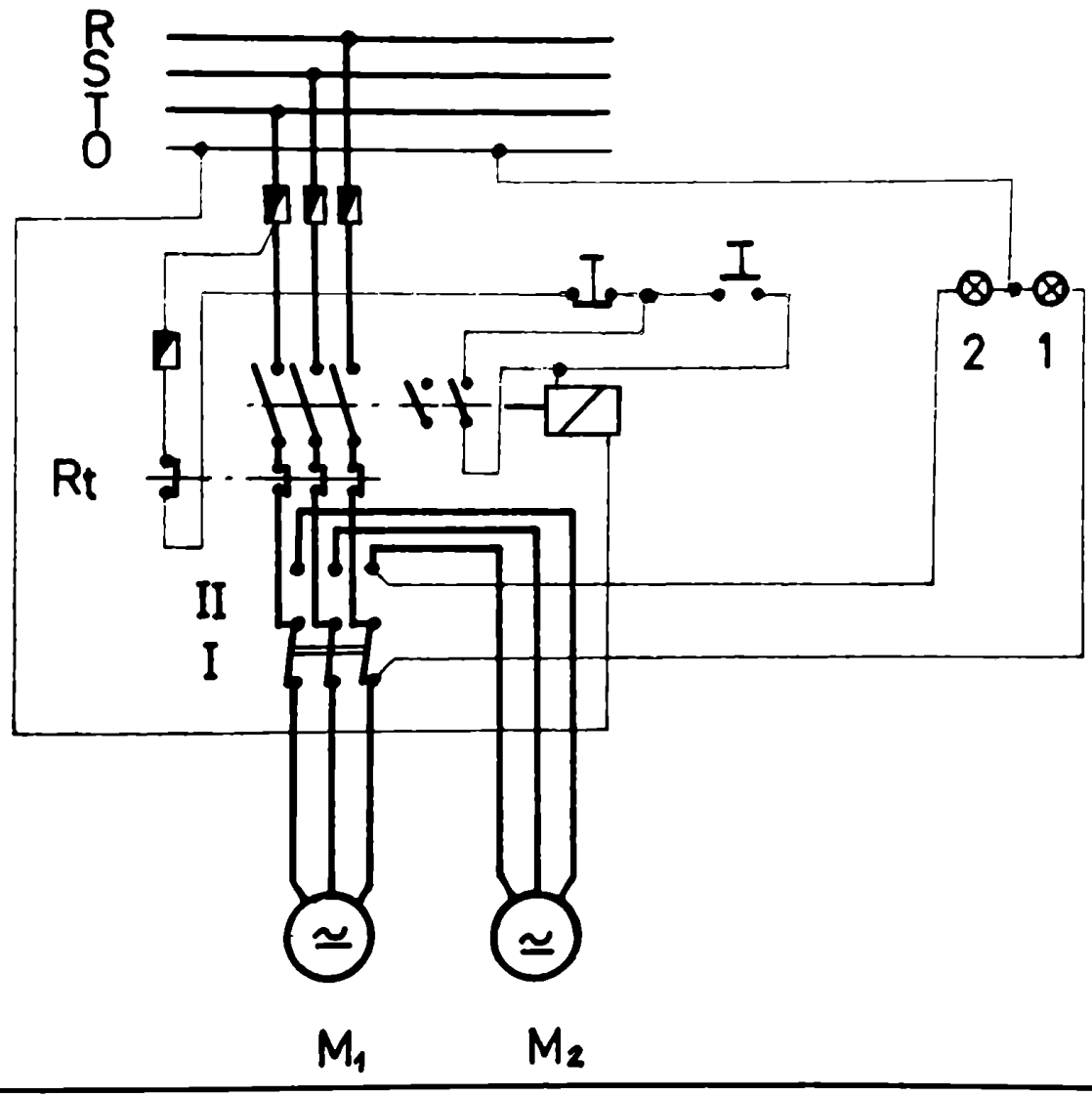
Cuando en una instalación de dos motores deba de funcionar uno de los dos indistintamente; pero no a la vez, se suelen instalar cada uno con su contactor, ahora bien, si se quiere ahorrar la mitad de los elementos de instalación como son un contactor y un juego de pulsadores, se instalan con uno sólo empleando un conmutador manual de palanca.

Cuando se desee que trabaje el motor M_1 se coloca la palanca en la posición **I** luego se pulsa el botón de puesta en marcha quedando en funcionamiento que será indicado con el piloto **1**, igualmente puede hacerse con el motor M_2 una vez que el conmutador se cambie a la posición **II**. Según el esquema sólo figura un relé de protección común para los dos motores, quiere decirse que los dos son iguales en potencia, caso de querer emplear este mismo montaje siendo los motores de desigual potencia se montan dos relés, calibrado uno para cada motor y después del conmutador de forma que protejan uno a cada motor y ambos montados en serie según se ve en la variante o circuito adjunto, así, ante una posible sobreintensidad cuando funcione cualquiera de los dos motores, disparará el relé correspondiente al motor que está en marcha, los pulsadores pilotos y contactor no sufren modificación alguna.

Como todos los contactores poseen un contacto auxiliar de realimentación o permanencia, lleva otro más por si fuera necesario para una señalización, mando enclavamiento, etc.

Los fusibles generales pueden ser comunes siempre que las potencias no sean muy diferentes, si existe mucha diferencia se montan un juego en cada motor a la salida del conmutador delante de los relés de protección.

INSTALACION DE DOS MOTORES Y UN MANDO



TENSION DE MANDO EN LOS CONTACTORES

En todos los esquemas anteriores se ha considerado que la tensión de excitación de la bobina es la correspondiente a fase y neutro de la línea tomando de fase, pasando por un fusible, relé, pulsadores, bobina y cerrando el circuito por el neutro.
Debe tenerse muy en cuenta la tensión de cada red para acoplar el contactor con la bobina que corresponda no a la línea sino al tipo de alimentación, pues si la bobina del contactor la sometemos a una tensión superior a la que marca se quemará y si se le aplica una inferior, o no funcionará el motor o lo que será peor que por insuficiente atracción del campo de bobina quede el motor a dos fases o arranques intermitentes peligrando éste.

En el esquema figuran:

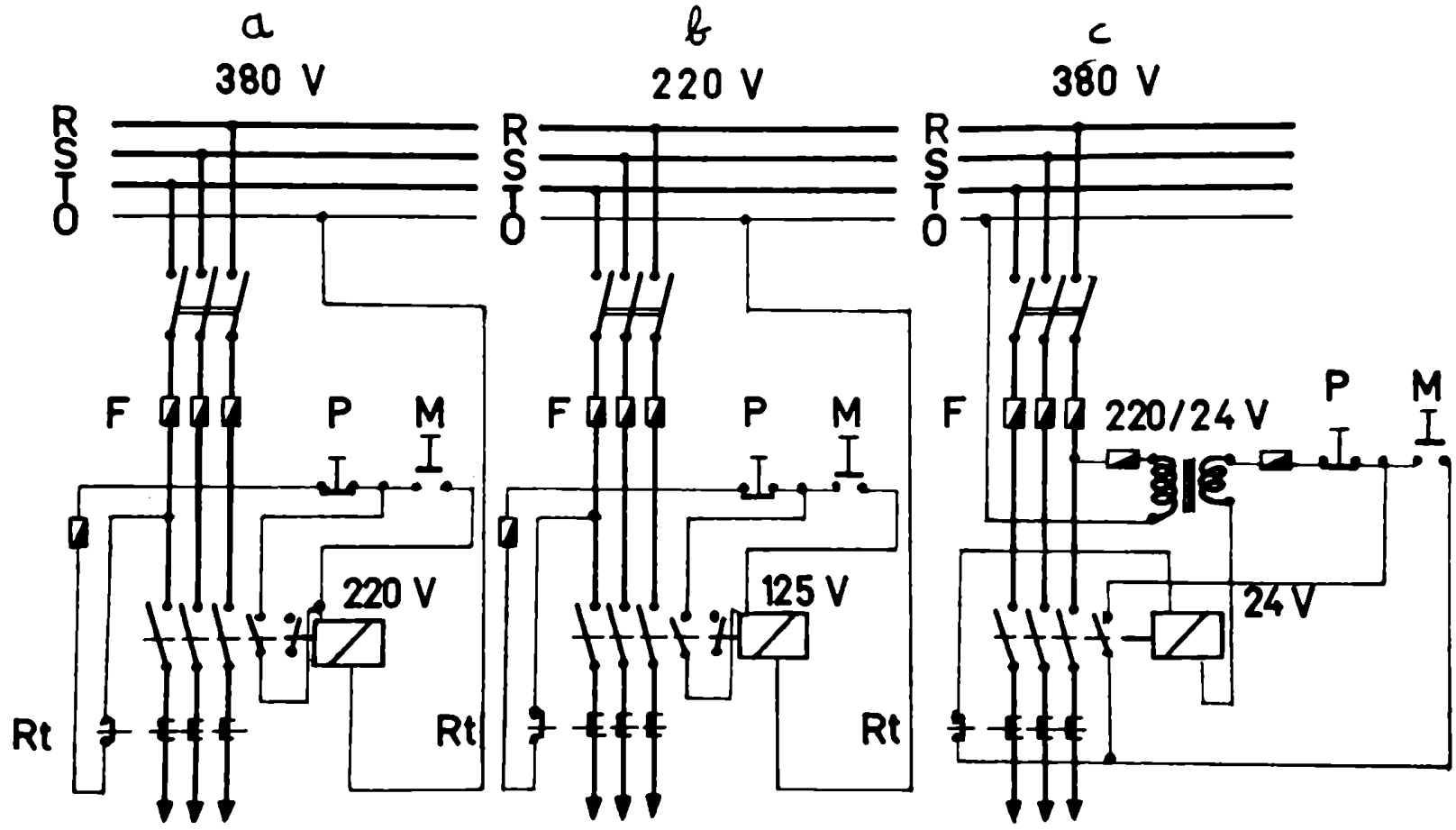
a) Una red de alimentación a 380 V, si la bobina la alimentamos como indica entre fase y neutro ésta deberá ser de $\frac{380}{\sqrt{3}} = 220$ V, no cabe duda que el mismo contactor puede llevar una bobina de 380 V, pero con la condición de conexionar el neutro a la fase **S** o **R**.

b) Una red de alimentación a 220 V, si la bobina se alimenta entre fase y neutro como se indica trabajará a $\frac{220}{\sqrt{3}} = 127$ V, también en este contactor podría ser excitada su bobina entre fases a 220 V en este caso; pero la bobina deberá ser también de 220 V.

c) En tercer caso vemos una alimentación de bobina con una tensión muy rebajada, 24 V; éstos se obtienen en el secundario de un transformador con relación de transformación 220/24 V conectado a fase y neutro de red, ésta es de 380 V. Este sistema a baja tensión tiene una ventaja notable respecto a la eliminación de peligros, resulta más cara; pero un transformador puede montarse para un circuito de mando de varios motores y esto es muy conveniente.

Estos transformadores de tensión son sencillos, pequeños y de escasa potencia, cuya finalidad es alimentar las bobinas.

TENSION DE MANDO EN LOS CONTACTORES



PROTECCION DE UN MOTOR

Todo motor debe ser protegido contra agentes exteriores como son el polvo, el agua, la humedad, los golpes, vibraciones, etc., estas protecciones en su mayor parte se obtienen generalmente empleando motores cerrados, blindados, adecuados a cada caso particular.

Ahora existen otros riesgos como son: sobrecargas instantáneas o sostenidas, puntas de carga, cortocircuitos, sobrecargas debidas a un par resistente excesivo, por roces del estator-rotor por rodamientos averiados, etc. Todos estos riesgos y otros más los protegemos empleando fusibles y guardamotores.

Los fusibles nos protegen contra los cortocircuitos.

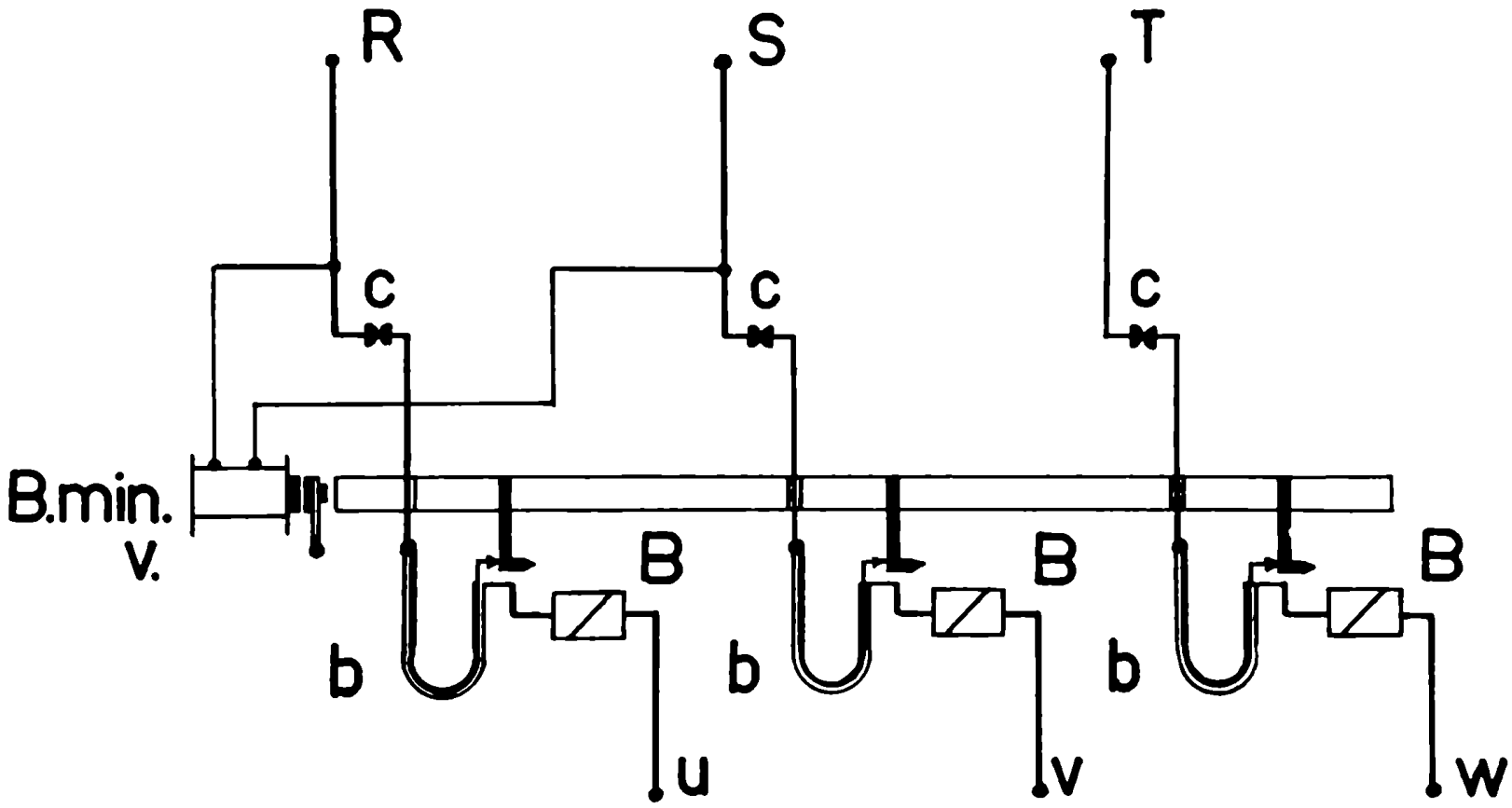
Los guardamotores o relés protegen el motor de toda sobrecarga cuyo valor sea superior a la corriente nominal del motor o en todo caso a partir de un cierto valor prefijado.

Los relés empleados pueden ser magnototérmicos y térmicos, diferenciales, etc.

Los relés térmicos tienen su fundamento en la deformación sufrida por unas láminas de distinto material, bimetales, con distinto coeficiente de dilatación y se dilatan por efecto del calor producido en una resistencia por la que pasa la corriente del motor, esta corriente mientras es la normal del motor no produce el suficiente calor para afectar las láminas; pero cuando es superior por una sobrecarga sí, empiezan a curvarlos y accionan un sencillo mecanismo que actúa desconectando los contactos que paran el motor. Según el esquema **b**, son los bimetales protectores, **B** son las bobinas protectoras de alta intensidad que accionan antes que los bimetales, tanto el bimetal como las bobinas actúan sobre la barra larga aislante abriendo los contactos de trabajo **C**, aún puede protegerse con otra bobina **B**. mín. **V**, es decir, de mínima tensión, al bajar ésta de un valor fijado deja de atraer la armadura de la barra aislante y abre los contactos **C**.

Este motor como vemos queda protegido contra sobrecargas con el relé térmico bimetal, contra sobrecargas fuertes con las bobinas de máxima **B** y contra mínima tensión con la bobina **B** mín. **V**.

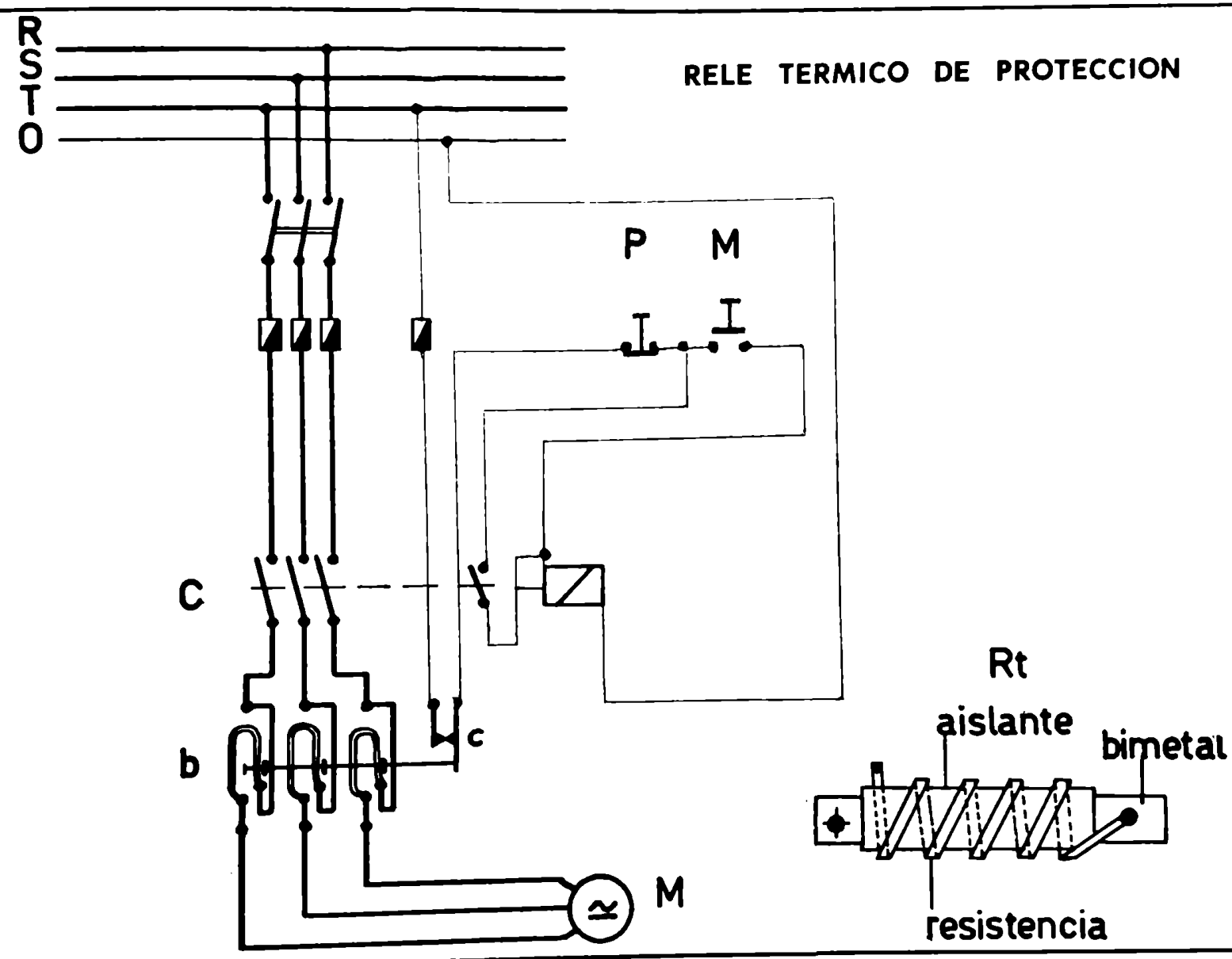
PROTECCION DE UN MOTOR



RELE TERMICO DE PROTECCION

En el presente esquema vemos una instalación completa de un motor, en ella se aprecian los bimetales del relé de protección comentados en el esquema anterior, señalados con **b**, un contactor **C** con su bobina de excitación del cual hablaremos en el próximo esquema y otros accesorios.
Cuando el motor trabaje normalmente a su corriente nominal In los bimetales **b** no se alterarán; pero si por cualquier causa aparece una sobrecarga o intensidad mayor de cierta duración que pueda hacer peligrar el motor los bimetales se van calentando, hasta adquirir una temperatura que debido a la diferente dilatación de sus láminas se curvan proporcionalmente a las temperaturas empujando una o unas láminas aislantes las que desplazan unos contactos **c** por donde pasa la corriente de alimentación de las bobinas que mantiene cerrado el circuito principal de carga y una vez abiertos queda sin alimentación cesando la fuerza atractiva de la bobina y abriéndose dicho circuito de carga parando el motor.
El relé térmico cuya parte fundamental es el bimetal adquiere el calor procedente de una resistencia que lo circunda, esta resistencia de poco valor y en serie con cada una de las fases del motor da paso a la corriente de fase, según detalle en el esquema de aplicación del relé térmico **Rt** formado por las láminas bimetálicas de dos materiales de distinto coeficiente de dilatación y soldados a presión quedando en un bloque, suelen ser de hierro y níquel, entre las láminas y la resistencia calefactora se interpone un aislante de mica o amianto para evitar el contacto eléctrico entre ambos, uniéndosen los extremos de la resistencia con la fase correspondiente y motor.
El relé lleva un sencillo mecanismo de regulación consistente en una ruleta que ajusta entre los dos límites de regulación la distancia para el disparo y una vez disparado, abiertos los contactos no puede ponerse en marcha el motor ni volver a juntarlos manualmente, es decir, rearmar el relé pulsando en un botón a tal efecto. Un ejemplo de relé sería el 6'5 a 8'5 para motores de arranque directo de 6'5 A a 8'5 A.

RELE TERMICO DE PROTECCION



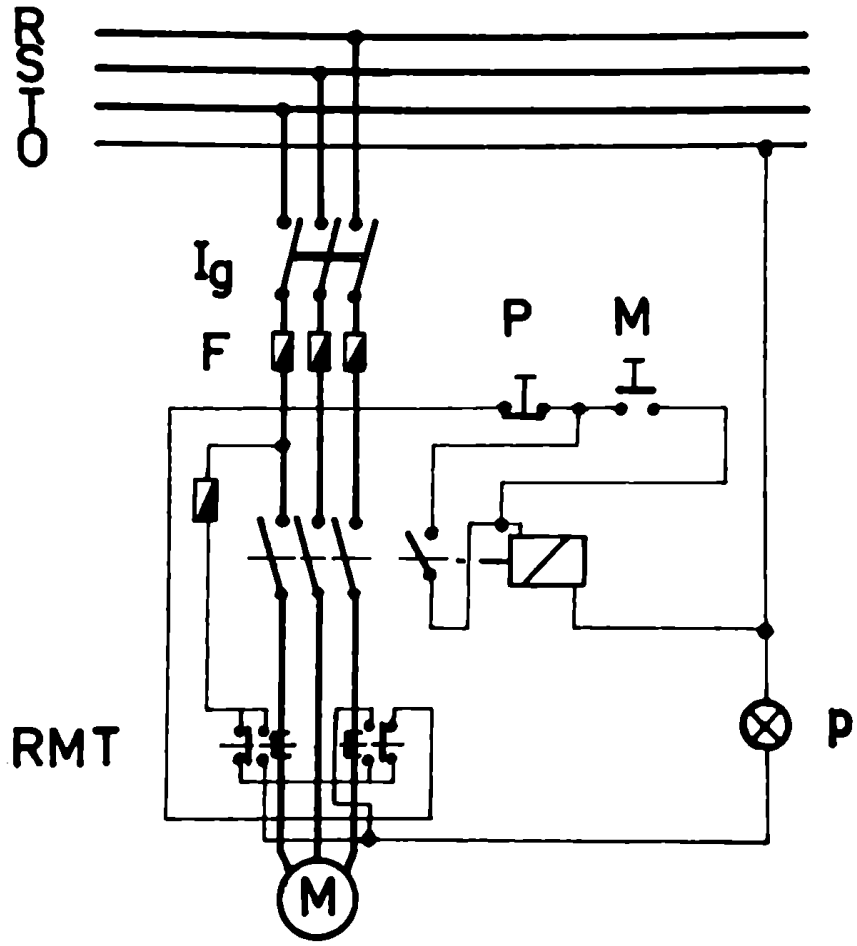
PROTECCION CON RELE MAGNETOTERMICO

Anteriormente hablamos de los relés térmicos de protección de los motores, compuestos de una resistencia y bimetal. Hay otros relés de protecciéin y entre ellos el denominado relé magnetotérmico, simbolizado por **RMT** de la casa Agut, entre su gama podemos citar a título de información de ellos como ejemplo: RMT-1'2, quiere decir que sus límites de regulación oscilan entre un mínimo de 1 A y un máximo de 1'6 A, el RMT-5 con regulación 3'5 a 6'5 A, el RMT-50 con un campo de regulación de 35 a 65 A, etc.

Estos relés los montamos, como indica el esquema, en dos de las tres fases, la intensidad a soportar por los contactos de estos relés al disparo es de 8 A y el fusible para la protección del circuito de mando suele ser de 4 A.

Según el esquema tenemos un motor **M** conectado a una red trifásica con neutro, de ella derivamos la línea de alimentación del motor a través de un interruptor general **Ig** pasando luego por un juego de fusibles calibrados según la potencia del motor para protegerle tanto a él como al relé magnetotérmico de fuertes corrientes o cortocircuitos, seguidamente viene el contactor de trabajo para la conexión automática, sigue el relé de protección **RMT** para sobrecargas periódicas o sostenidas que mandará a la bobina abrir el circuito de trabajo en caso de peligro manifiesto para el motor.

Cuando dispare el **RMT** tanto a causa de una u otra fase sobrecargada (puesto que la protección de las dos fases está en serie) se cerrarán otros contactos secundarios como puede verse conmuntando al piloto **p** que indica disparo del relé y por lo tanto la máquina quedó parada por causa ajena al operario. No volverá a ponerse en marcha si no es pulsando en **M** y antes examinar la causa que originó el disparo del relé.


R
S
T
O
Ig
F
P
M
RMT
p
M

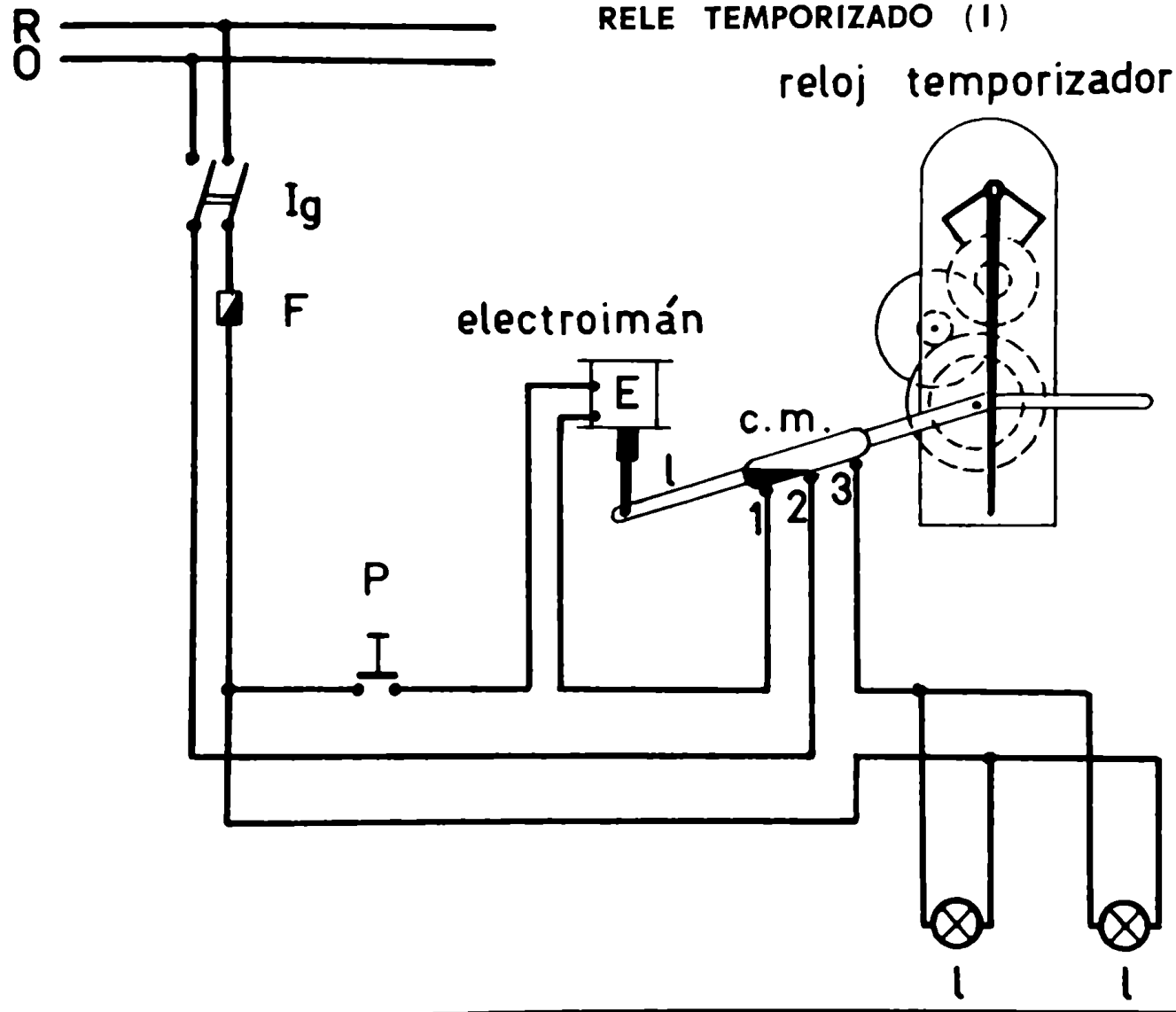
RELES TEMPORIZADOS

El presente ejercicio consta de la descripción y funcionamiento de tres esquemas; el I trata de un relé temporizado empleado para el alumbrado de escaleras, ascensores e instalaciones que se precise durante unos minutos. Una vez que el interruptor general **Ig** está conectado la instalación queda en condiciones de hacer uso de ella, para ello se pulsa el botón **P** y la corriente llega a la bobina del electroiman **E** pasando por los contactos del conmutador de mercurio **c.m.** cerrando circuito por los 1 y 2, el electroimán fue excitado atrayendo el émbolo **e**, haciendo bascular el mercurio abriendo los contactos 1 - 2 y cerrando los 2 - 3, los que dejan en tensión las lámparas **l**, al bascular el brazo de palanca queda éste enclavado en el reloj temporizador el que permite que baje arrastrando el sistema de relojería en un tiempo regulado hasta desconectar los contactos 2-3 y conectar los 1 - 2 apagándose las lámparas.

El esquema II consta de un relé térmico **b**, o termostato montado en serie con una resistencia de precalentamiento **r** y un receptor **R**, conectado el interruptor general **Ig** se le manda la corriente a los bimetales **b** pasando por la resistencia **r** que va calentando aquellos por el calor producido el que aumenta gradualmente por estar su recinto cerrado, el receptor **R** se pone en funcionamiento y cuando la temperatura en **b** llega a la fijada abre el contacto inferior y cierra el superior poniéndose en marcha el motor sincrono **h** durante un tiempo fijo, pasado éste el apéndice **(a)** abre el interruptor I parando el reloj temporizador, el tiempo que éste funcionó es mayor que el que necesita los bimetales para enfriarse, por ello es necesario que el contacto **c** cuando el motor **m** se puso en marcha quede retenido por este con una atracción **(at)** y al abrirse I es liberado cerrándose el contacto con el bimetal, empezandoun nuevo ciclo, el receptor **R** puede ser un calentador cuya temperatura coincide con la del relé **b** para su desconexión al alcanzar ésta, etc.

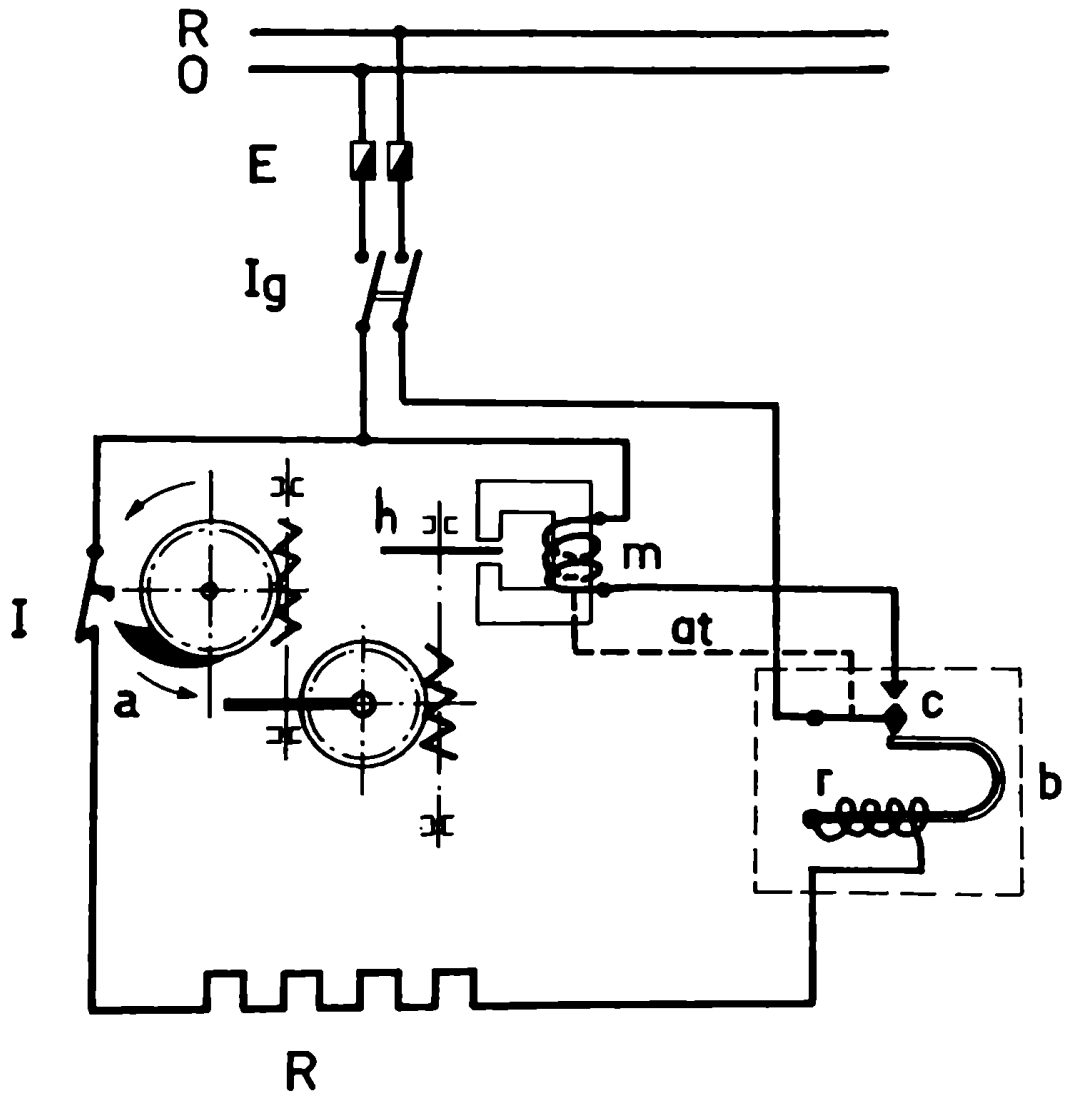
En el esquema III tenemos dos relés temporizadores, el **(a)** comprende un receptor **r** derivado con el motor síncrono del relé, el tiempo necesario para su funcionamiento le determina el mismo relé desde que empieza a funcionar hasta que abre el contacto **c**, relé y receptor se conectan y desconectan al mismo tiempo cuando se cierra el interruptor I y abre el contacto **c**, al abrirse éste queda enclavado, debe cerrarse normalmente. El esquema **(b)** al cerrar el interruptor I se excita la bobina **b** y al atraer la barra se cierra los contactos **C** entre sí alimentando uno el circuito de utilización **V** y el otro alimenta el relé motorizado **m** que es el que una vez transcurrido el tiempo prefijado abre en **s** cortando la alimentación de la bobina **b** y esta libera los contactos **c** y desconectan el circuito de utilización.

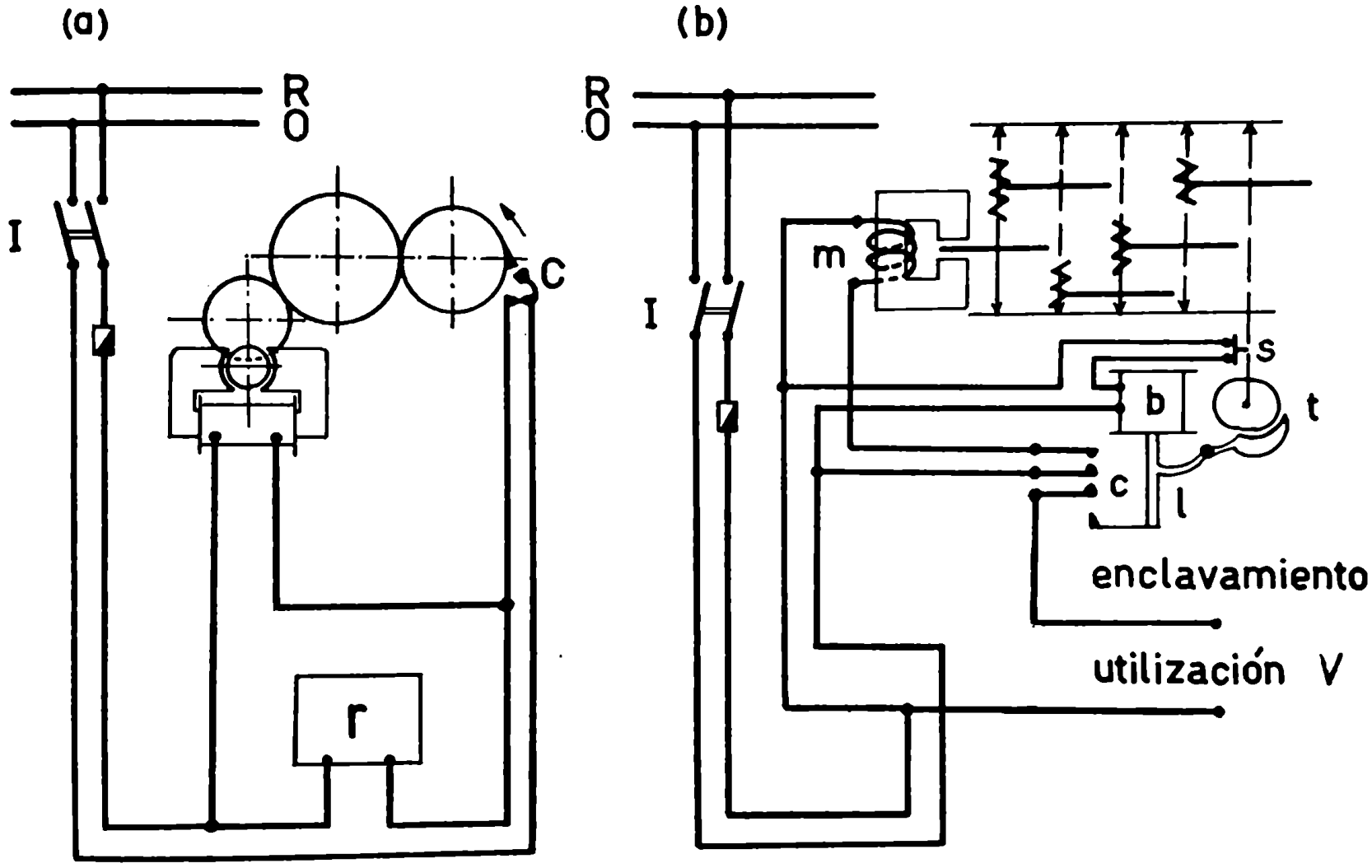
RELE TEMPORIZADO (I)



reloj temporizador

RELE TERMICO TEMPORIZADO (II)




(a)
R
O
I
C
r
(b)
R
O
I
m
s
b
t
c
l
enclavamiento
utilización V

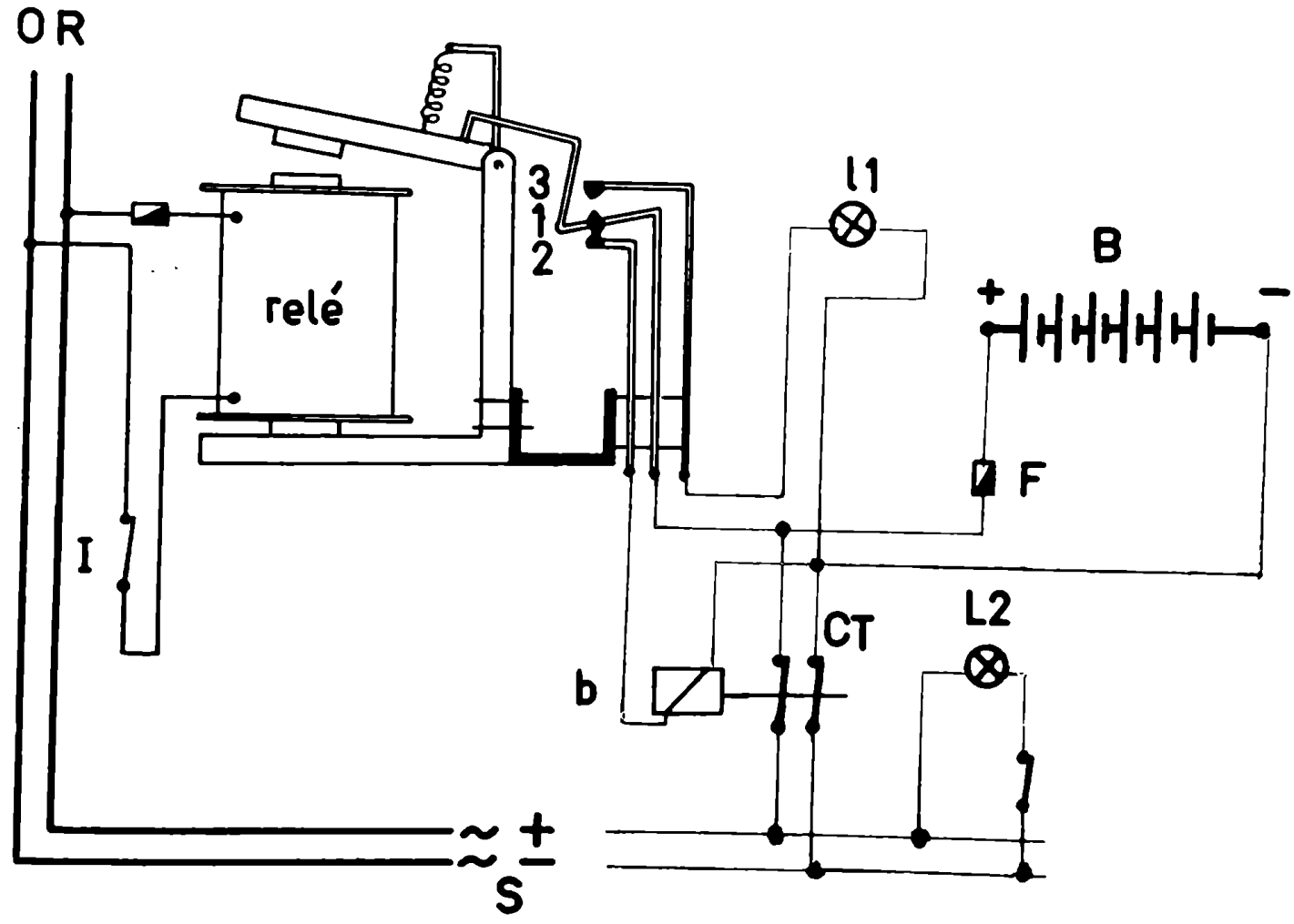
CIRCUITO DE SEÑALIZACION

En el transcurso de los ejercicios de automatización y aplicación de los relés en sus distintos tipos se han visto tanto en circuitos industriales como en auxiliares muchas aplicaciones, en este vamos a ver otras combinaciones.

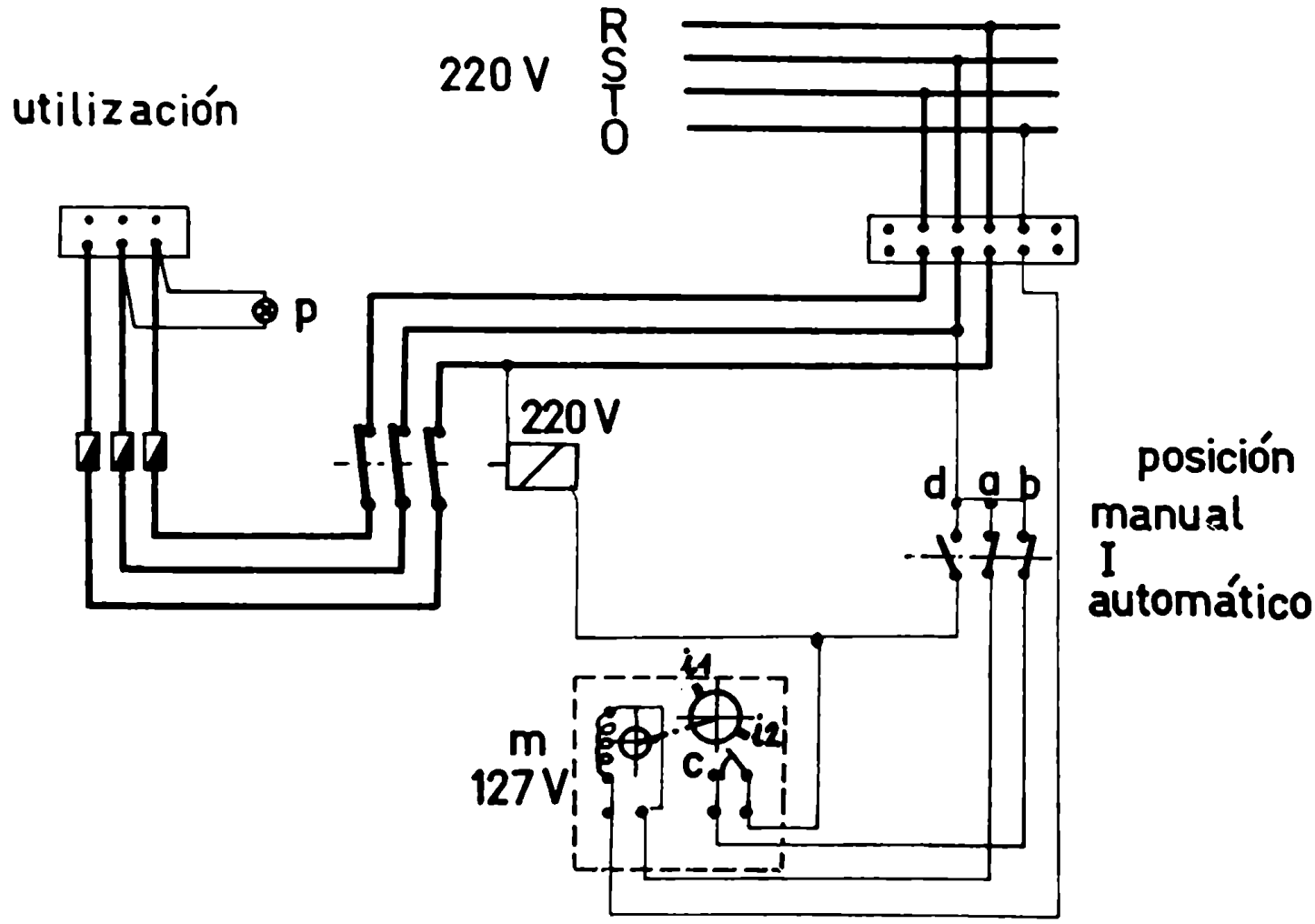
En el esquema I existen dos fuentes de alimentación, una alterna y otra continua, ambas pueden aplicarse a un cometido común en el sector **S,** veamos cómo: según posición actual del esquema se entiende que no hay tensión en la línea de corriente alterna por eso el relé está abierto pero nos cierra el contacto 1 - 2 alimentando la bobina **b** que conecta la batería a la red de corriente continua disponiendo de esta forma en barras + — de fuerza en continua lo que será señalizado por el piloto **L2**. Si la fuerza en alterna aparece se excita el relé **R** atrae en su armadura y abre los contactos 1 - 2 y cierra los 1 - 3, al abrir los 1 - 2 la bobina **b** se desexcita abriendo sus contactos de trabajo **CT** dejando la batería fuera de servicio y al cerrar los 1 - 3 se enciende el piloto **L1** alimentado con la batería, éste señaliza como que hay alimentación en alterna. Este sistema asegura en todo momento un servicio bien en alumbrado u otros usos al disponer de la batería como reserva.

En el esquema II tenemos la instalación de un reloj horario temporizado el que lleva un relé motorizado sincrónico son caballetes y fijados en una esfera horaria para mando de abrir y cerrar un circuito que puede ser el encendido y apagado de un alumbrado, un anuncio, etc., enciende automáticamente al ponerse el sol y apaga al hacerse de día, sin otra operación que la de regular los caballetes **i** una sola vez. Según posición actual del interruptor I, el relé está funcionando, la bobina del contactor excitada luego el circuito de utilización en trabajo, cuando llega el caballete, **i** al micro **c** lo abre y el contactor desconecta la línea del receptor, el motor **m** siempre funcionando va girando el disco horario y cuando llega el caballete **i2** conecta el mismo **c** y el contactor conecta la línea. Si se desea un funcionamiento del receptor contínuo se conmuta el interruptor I y se abren **a** y **b** parando el relé y cierra el **d** con alimentación constante a la bobina, queda ahora en situación manual.

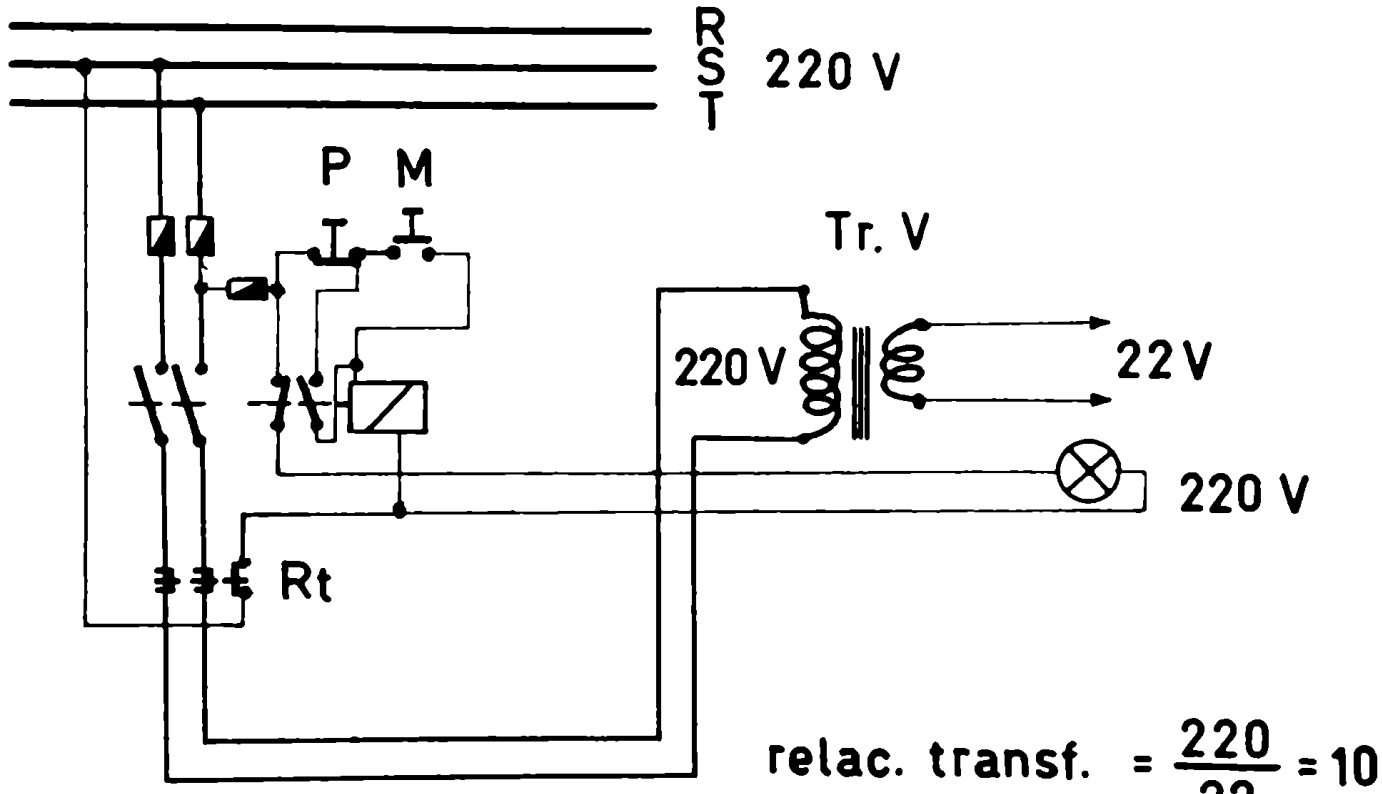
El esquema III es un circuito de mando para conectar a línea un transformador reductor **TrV,** de tensión de 220/22 V relación, de transformación 10, usado para alumbrado a bajo voltaje u otros usos que requieren tensión reducida, como todos los circuitos de mando y puesta en marcha y paro, dispone de relé térmico, fusibles y pulsadores, el piloto de señalización indica cuándo el transformador está desconectado.


OR
relé
3
1
2
I
l1
B
+
−
F
CT
L2
b
~ +
~ −
S

INSTALACION DE ANUNCIO TEMPORIZADO (II)



CIRCUITO DE SEÑALIZACION (III)



relac. transf. $= \frac{220}{22} = 10$

RELOJ TEMPORIZADOR

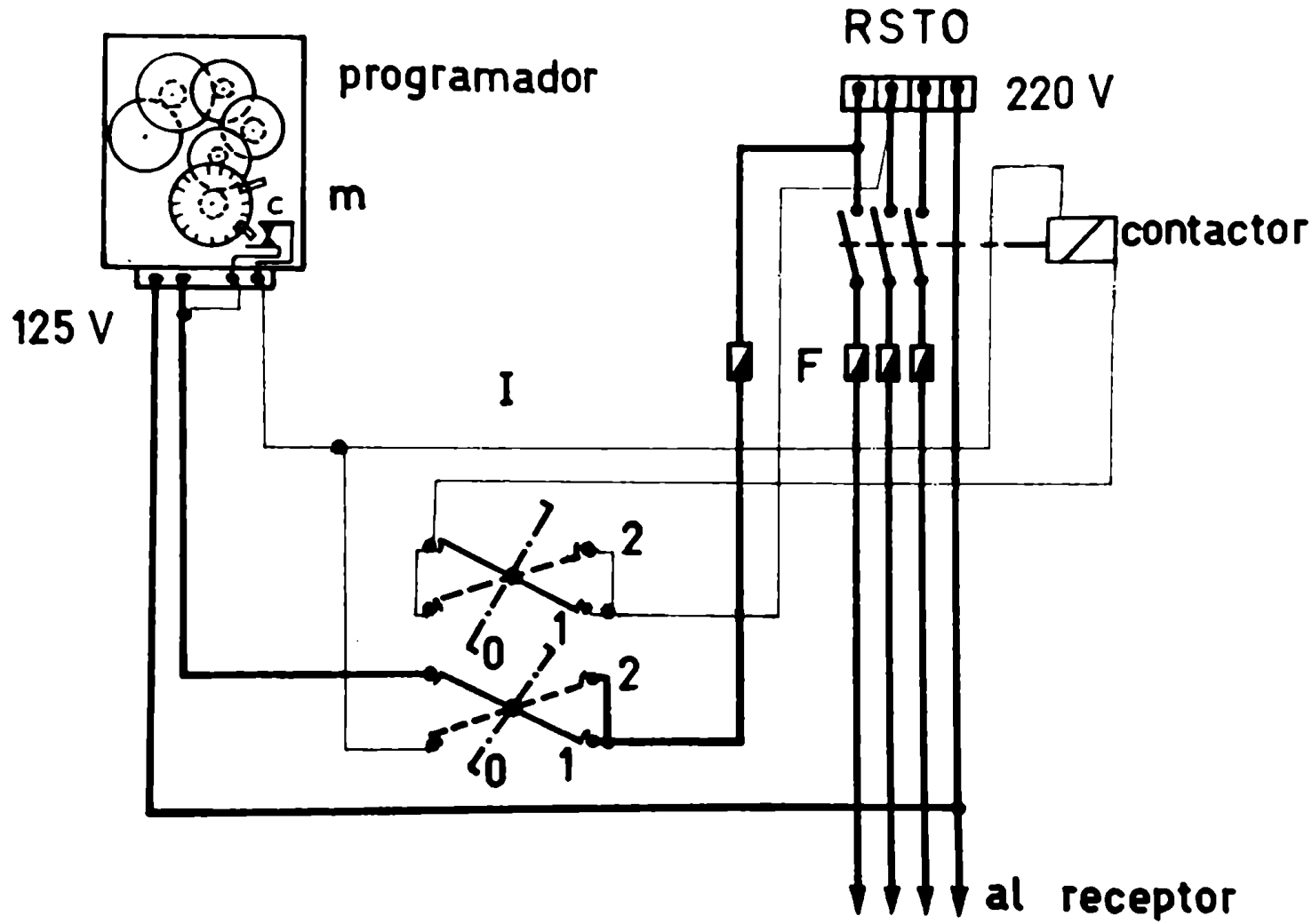
Los circuitos automáticos que en general se tratan en esta obra, una vez que se pulsa un botón de puesta en marcha actúan simultáneamente y paran igualmente al pulsar el botón de parada, no obstante hay circunstancias y necesidades de que una vez dada la orden de mando es preciso que el circuito o máquina transcurra cierto tiempo sin actuar, tanto para la puesta en marcha como para el paro, también son precisos programaciones a tiempos distintos, contactos que deben conectarse o desconectarse en un tiempo prefijado los que actuarán sobre circuitos secundarios de mando y contactores de trabajo. Para obtener, estas ventajas en temporizar el tiempo se emplean los llamados relés temporizadores que ajustan períodos de tiempo muy corto o largo, desde décimas de segundo o impulsos a minutos y horas, encontrándose muchísimos tipos y formas de aplicación. Para el arrancador estrella triángulo es necesario un temporizador que separa la entrada de los contactores entre estrella y triángulo con el fin de dar tiempo al período de arranque; en este caso son unos diez, quince, veinte, etc., segundos, según potencia del motor. Este temporizador corresponde a los llamados no cíclicos con períodos no repetidos.

Los cíclicos se utilizan en procesos repetidos periódicamente, como son programaciones automáticas, enclavamientos de motores en procesos de fabricación, etc.

Los relés temporizadores aparte de su diversidad de modelos y aplicaciones unos funcionan como un reloj eléctrico, otros manualmente y los más importantes con un pequeño motor síncrono.

En el esquema que nos ocupa se representa un reloj temporizador con motor síncrono alimentado a 125 V a través de un interruptor I, posee un mecanismo de reducción con una esfera y sus caballetes para fijar el tiempo que debe conectar y desconectar por ejemplo para un anuncio de propaganda. Si conectamos el interruptor I el motor síncrono queda conectado continuamente y programado el tiempo con los caballetes en el programador **m** y cuando conectan los contactos **c** centra el contactor conectando el receptor a red, si se quiere tener fuera de servicio el temporizador y el receptor en marcha se pasa el interruptor **1** a la posición **2** señalada por trazos dejando de alimentar el reloj temporizador y conectando el contactor directamente, así el receptor trabaja sin interrupción, al pasar a la posición **1** vuelve el temporizador a ponerse en marcha temporizando, bien la conexión, desconexión o ambas entre un tiempo fijado.

RELOJ TEMPORIZADOR



TEMPORIZADOR EN UN CIRCUITO

En la industria es necesario muchas veces que para la manipulación de ciertas materias, para el proceso de fabricación, para determinadas fases de operaciones trabajan dos motores que tienen cada uno una finalidad distinta en esa operación o en esa máquina y que se precisa la intervención de un motor después del otro, es decir, el trabajo lo empieza un solo motor y después transcurrido cierto tiempo según los casos empieza el otro motor; así, en el momento que se le da una orden de conexión a un motor, éste se pone en funcionamiento y a su vez lo hace el relé temporizando un intervalo de tiempo tras el cual cierra unos contactos que mandan la corriente a la puesta en marcha del segundo motor, éste acciona con relé temporizado con retraso a la conexión o temporizado a la conexión.

Puede en este caso emplearse un relé temporizador bien a motor síncrono o bien relé térmico; a motor síncrono con embrague el que accionado por un electroimán, que lleva los contactos de cierre o de apertura, va temporizando el tiempo fijado, hasta que transcurrido éste realizaba bien la conexión o desconexión o ambas a la vez, poco después el motor síncrono se autodesconecta al abrir su circuito una leva a tal fin parándose, con relé térmico y correspondiendo a los no cíclicos, tenemos el relé temporizador del arrancador estrella triángulo entre otros muchos usos, se funda en los efectos térmicos de la corriente al paso por unos bimetales en los que produce calor, este calor curva los citados bimetales que accionan los contactos conectados, la corriente que pasa por el bimetal ha producido en el secundario de un transfomador haciéndole pasar por una resistencia regulable a mano y el primario es alimentando al circuito de mando. Veamos un ejemplo práctico, se truta de una prensa con motor $\mathbf{M_1}$ y otro motor para la alimentación $\mathbf{M_2}$ o puede ser una machacadora con motor $\mathbf{M_1}$ y su cinta de alimentación $\mathbf{M_2}$, o bien un elevador con motor $\mathbf{M_1}$ y una alimentación con motor $\mathbf{M_2}$, en cualquier caso de aplicación se dispone de un interruptor, membrana pulsador **m**, etc., un relé temporizador con motor, **mt,** o relé motorizado, sus contactos temporizados, **ct** y su regulación de tiempo, **rt.**

Cuando los contactos **m**, a mano, por final de carrera correspondiente a otro mecanismo, por interruptor, por membrana, por pulsador, etc., se cierran son alimentadas las bobinas $\mathbf{C_1}$ que pone en marcha el motor $\mathbf{M_1}$ y el motor síncrono **mt** de temporización, regulado el tiempo en **rt,** transcurrido éste los contactos **ct** se conmutan y el circuito de la bobina $\mathbf{C_2}$, que permaneció abierto se cierra excitándose éste y cerrando el contactor de la línea del motor $\mathbf{M_2}$; transcurrida la operación de la máquina ésta se para abriendo en **m** y los contactos **ct** retornan a su posición de abiertos en reposo.

TEMPORIZADOR EN UN CIRCUITO

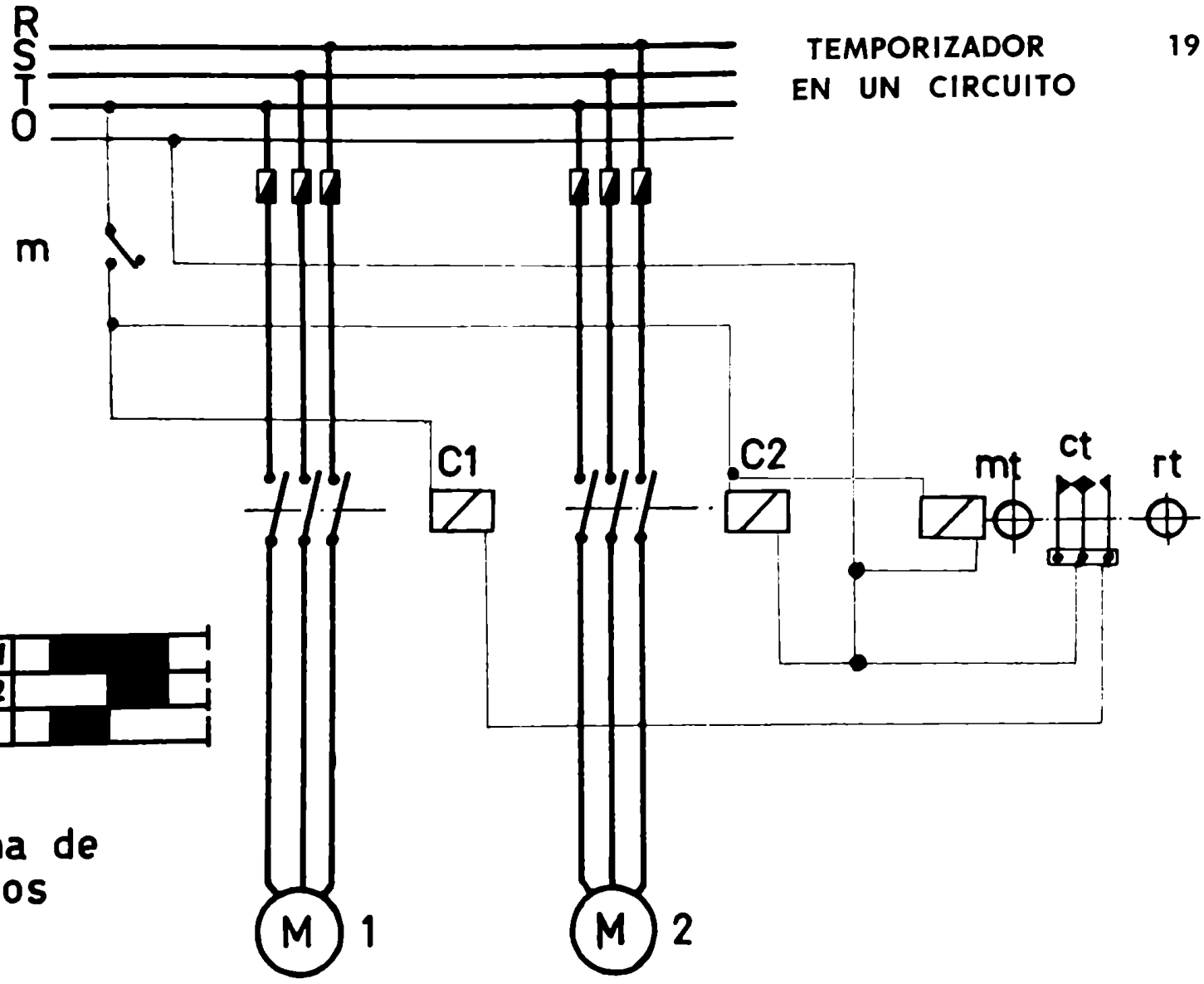


diagrama de tiempos

PARADA DEL RECEPTOR CON TEMPORIZADOR

Consideremos un receptor **R**, el cual precisa período de funcionamiento, **t** de minutos u horas, puede ser una estufa, horno, mezcladora; en resumen, un motor cualquiera bajo unas condiciones de trabajo, su puesta en marcha se realiza normalmente con pulsador de marcha y otro de paro, éste convencional, pues se debe parar por temporización; lleva un relé de protección y grupo de fusibles. Para la temporización empleamos un relé temporizador a motor síncrono alimentado de la misma red a fase y neutro.

Puesta en marcha: al pulsar el botón **M** la corriente de mando fluye de la fase **T**, relé de protección **Rt**, pulsadores **P** y **M**, contacto **C** del temporizador que están cerrados, bobinas y neutro a la vez y en derivación con la bobina es alimentado el motor síncrono el que pone en funcionamiento todo el sistema de temporización. Ahora el receptor quedó conectado a línea y el temporizador contando tiempo, transcurrido éste el mecanismo del relé abre los contactos **C** temporizados cortando la corriente de excitación de la bobina, el receptor queda fuera de servicio, el relé lo mismo, y bien por retorno del embrague electromagnético o por muelle antagonista, los contactos **C** vuelven a su posición de reposo de cerrados para empezar una nueva maniobra. La bobina se realimenta, como siempre, con su contacto auxiliar de permanencias **p**.

Este relé es temporizado con retraso de la desconexión.

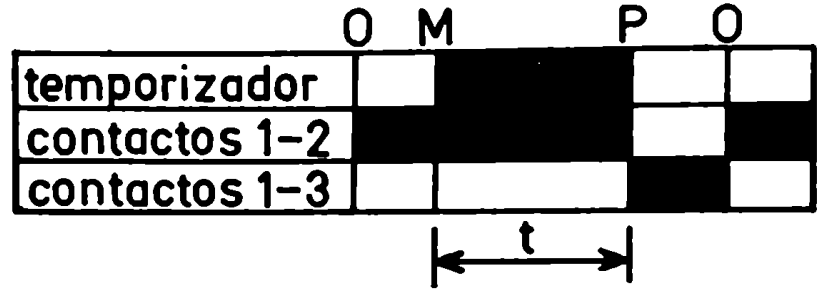
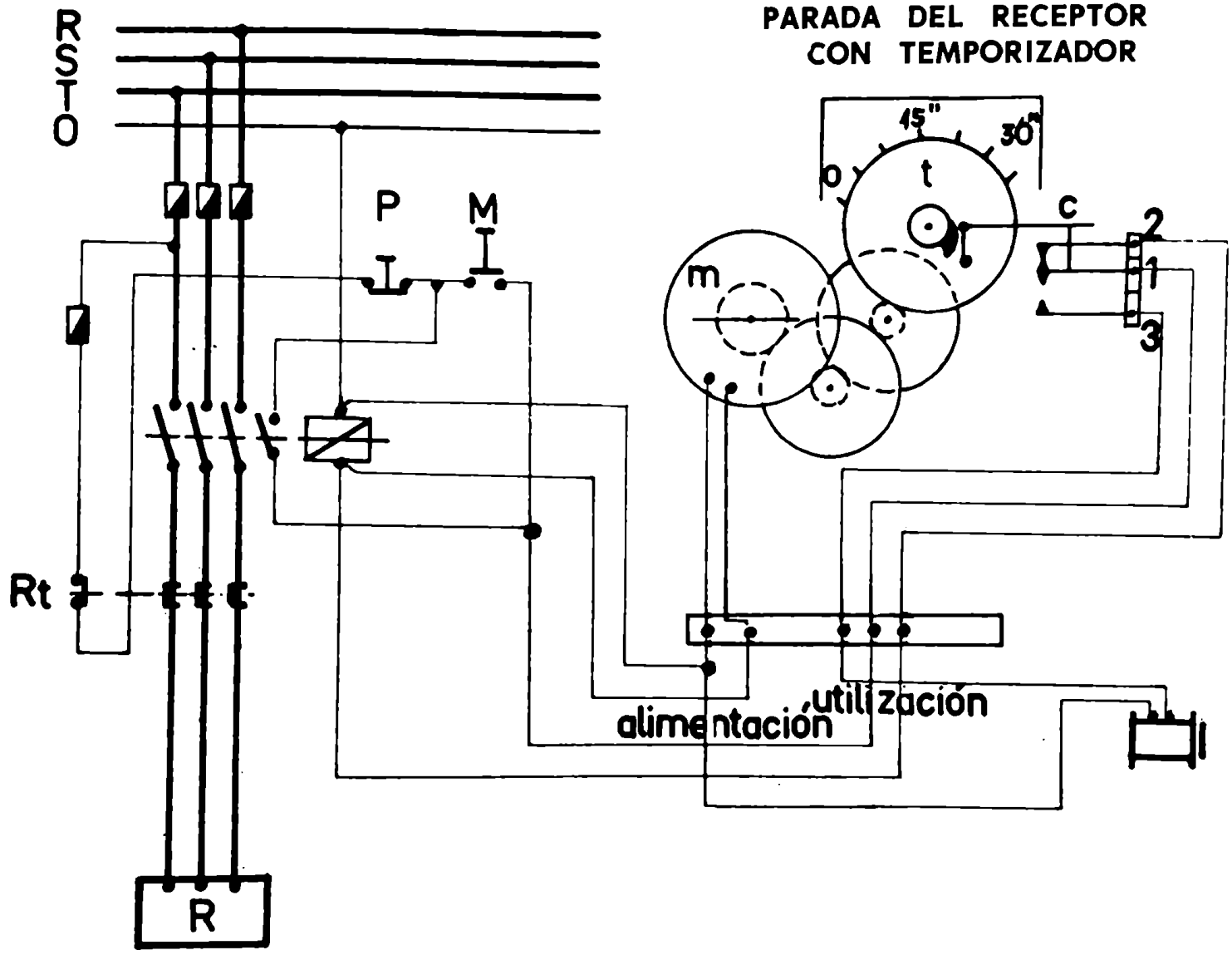


DIAGRAMA DE TIEMPOS

O. Posición de regreso.
t. Temporización.
M. Puesta en marcha.
P. Parada.

Los contactos 1-3 pueden conmutar y poner en servicio un timbre que avisará que se realizó la temporización parando el receptor; pero el funcionamiento de este timbre solamente será de unos segundos, los que le cuesta realizar el retroceso del temporizador a su punto de reposo, efectuándose en este instante la apertura de los contactos 1-3 y el cierre de los 1-2.

PARADA DEL RECEPTOR CON TEMPORIZADOR



MANDO POR TEMPORIZADOR

En el presente esquema se representa un receptor **R** alimentado por corriente alterna; el tiempo de funcionamiento que precisa es variable, según circunstancias. Por ello es necesario montar un relé temporizador en el que se ajuste el tiempo preciso para su servicio, cortando éste una vez transcurrido dicho tiempo. Montamos un relé temporizador motorizado con motor sincrónico en un embrague electromagnético, pero accionado con eje de levas movido por un sistema reductor de relojería y resorte antagonista para su reposición y vuelta al reposo inicial; éste comprende dos juegos de contactos: uno, el principal o de trabajo, **T**, que es el que cierra el circuito de carga del receptor y se abre cuando termina el período de temporización para dejar fuera de servicio el receptor; el otro juego de contactos, **c**, es el que cierra el circuito de mando para la puesta en marcha del receptor y la alimentación del motor sincrónico de temporización, y que permanece cerrado mientras dura la temporización, abriendo poco después que los hacen los contactos —accionados por las levas— vuelven a su situación de reposo.

Efectivamente, en el esquema se encuentra todo en paro; al pulsar el pulsador de puesta en marcha **M** alimentamos la bobina, que se realimenta por sus contactos auxiliares de permanencia; el contactor conectó a línea el relé temporizador y el receptor y, por tanto, ambos están en derivación; por ello el receptor queda bajo tensión y en servicio, pues el motor sincrónico empezó a funcionar y temporizar. El receptor tiene los contactos **T** cerrados, pero puede trabajar; el circuito de mando tiene los contactos **C** cerrados y también mantiene el circuito de excitación de las bobinas; transcurriendo el período de tiempo prefijado el árbol de levas desconecta primero los contactos **T** dejando parado el receptor; luego, abre los contactos **C** y la bobina abre la conexión a línea. En este momento, gracias al muelle antagonista, el árbol de levas vuelve a su posición de partida conectando los contactos **T** y **C**; pero todo queda en reposo.

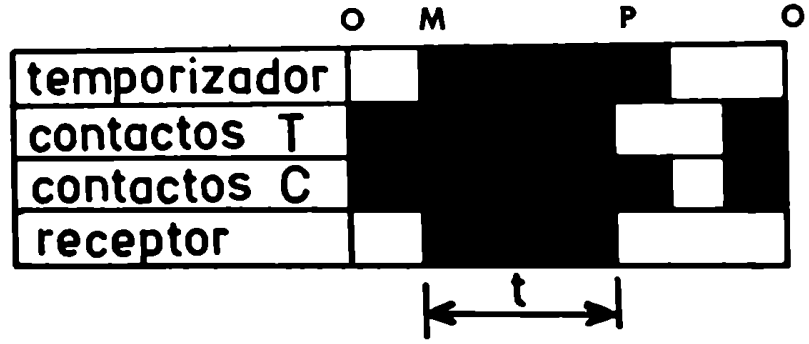
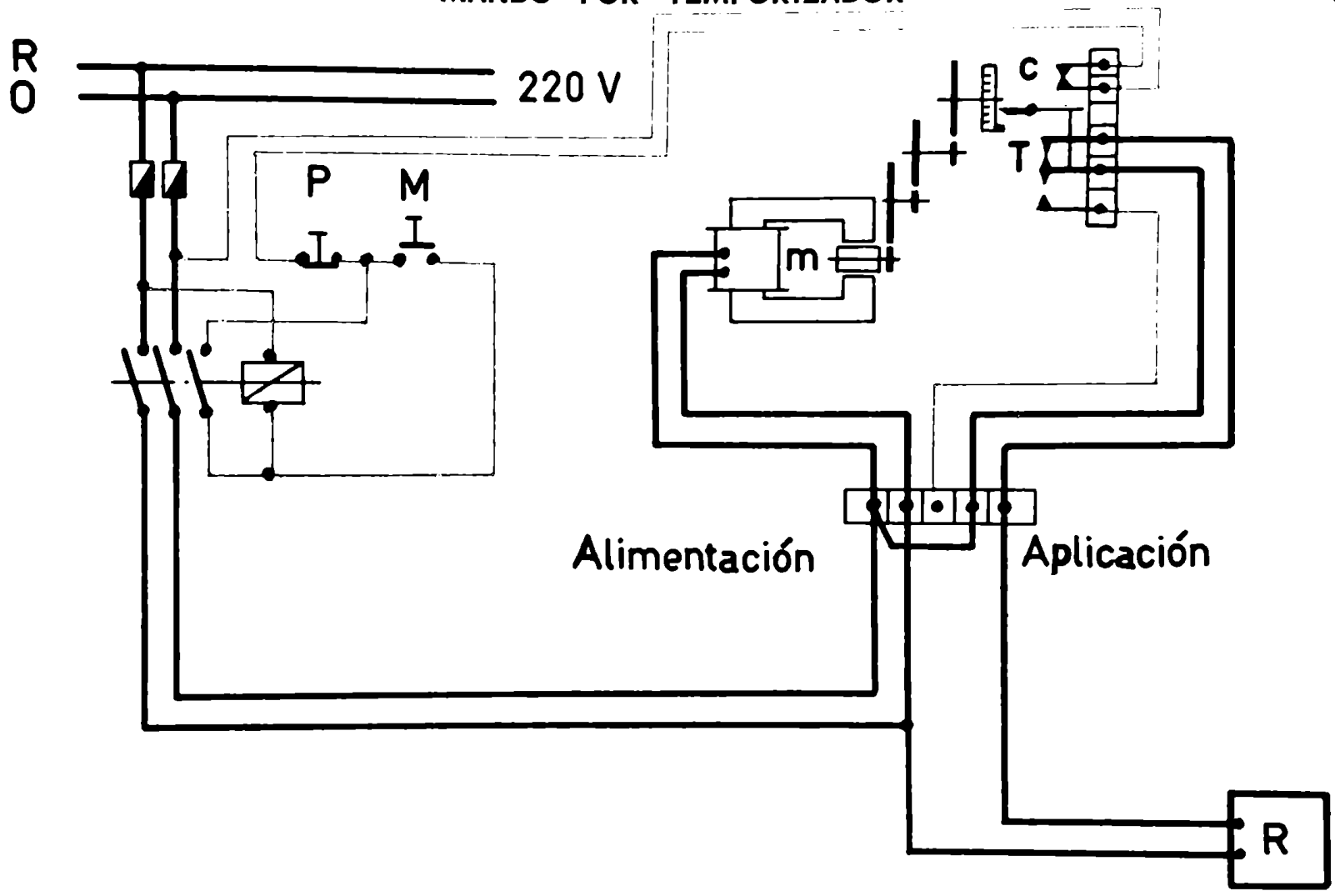


DIAGRAMA DE TIEMPOS

O. Posición inicial o de reposo.
M. Puesta en marcha y temporización.
P. Paro del receptor y temporización.
t. Temporización.


R
O
220 V
P
M
C
T
m
Alimentación
Aplicación
R

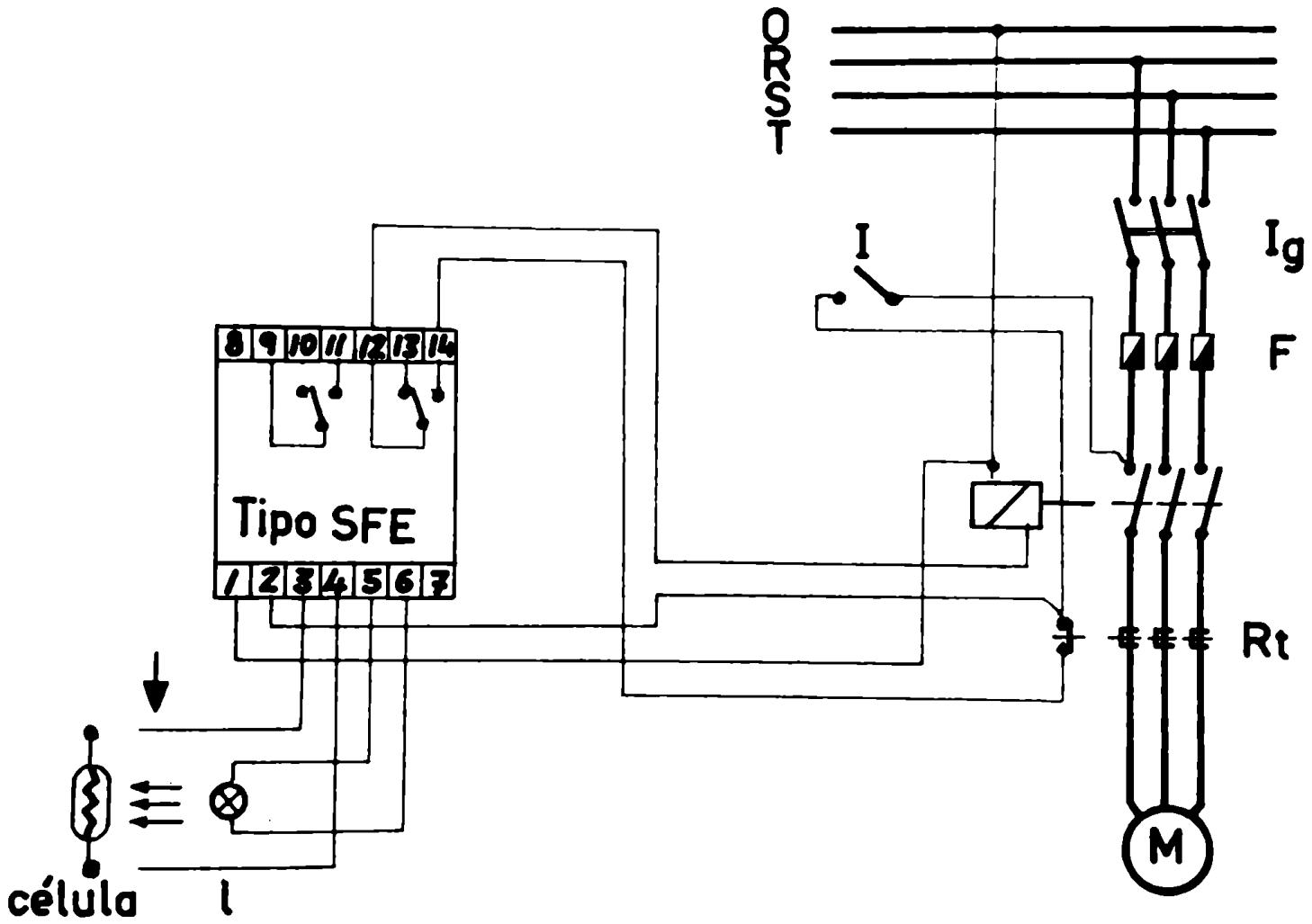
EQUIPO ELECTRONICO FOTOELECTRICO

Dentro de la gama de fabricación de equipos electrónicos transistorizados que Starkstom tiene programados se dispone de equipos electrónicos temporizados a la conexión, otros a la desconexión, reguladores de nivel por sondas, equipos electrónicos fotoeléctricos, etc.

El esquema adjunto es una aplicación del equipo transistorizado electrónico mediante célula fotoeléctrica, utilizado para múltiples usos, como, por ejemplo, todos los procesos de fabricaciones industriales, controles de pasos, limitaciones, prohibiciones, etc. El circuito de mando se alimenta con 220 V; temperatura máxima de funcionamiento, 45° C; potencia absorbida, 6 VA. La célula fotorresistente es de scd, tipo ORP-62, o foto diodo tipo OAP-12. La lámpara de incandescencia es de 12 V/3 w. Posee dos juegos de contactos conmutados; la intensidad máxima permanente es de 5 A; la tensión máxima de conmutación de 240 V, y la potencia de conmutación, de 30 V/100 w, 240 V/50 w.

El esquema consta de un equipo electrónico tipo SFE, con dos juegos de contactos conmutados en su parte superior: el circuito de alimentación, el circuito de la lámpara de excitación fotoeléctrica y el circuito de la fotocélula. Como aplicación se dispone de un motor trifásico, que se pondrá en marcha cuando lo mande la fotocélula al no percibir ésta la iluminación de la lámpara porque un objeto se interpuso entre lámparas y células.

Para su funcionamiento debe estar cerrado el interruptor general **Ig** y el interruptor **I** que alimenta el equipo electrónico; al cerrar éste el equipo queda dispuesto para la conexión; cuando una lámina que actúa como final de carrera o por desplazamiento, etc., se interpone entre lámparas y fotocélula, ésta manda una señal de corte al equipo electrónico, el que actúa sobre el relé de contactos y unos se abren y otros se cierran. El juego de los que cierran va conectado en serie, como se ve, con el relé de protección del motor y bobina, la que conecta el contactor con línea y el motor se pone en marcha. Cuando la lámina deja de interponerse entre lámpara y fotocélula, ésta es reactivada mandando otra señal, y el equipo electrónico hace que actúe el relé de utilización de contactos abriendo los de mando de puestas en marcha del motor. Como consecuencia de disponer contactos cerrados y abiertos, puede actuar a la inversa: al conectar el equipo a la red, el motor se pone en marcha y parará cuando falte la iluminación a la fotocélula por interposición de una lámina. Las aplicaciones son muchas y variadas. La alimentación del equipo se realizará por las bornas **1** y **2**; la fotocélula, por las bornas **3** y **4**, y la lámpara, por las bornas **5** y **6**.


ORST
I
Ig
F
Rt
M
8 9 10 11 12 13 14
Tipo SFE
1 2 3 4 5 6 7
célula
l

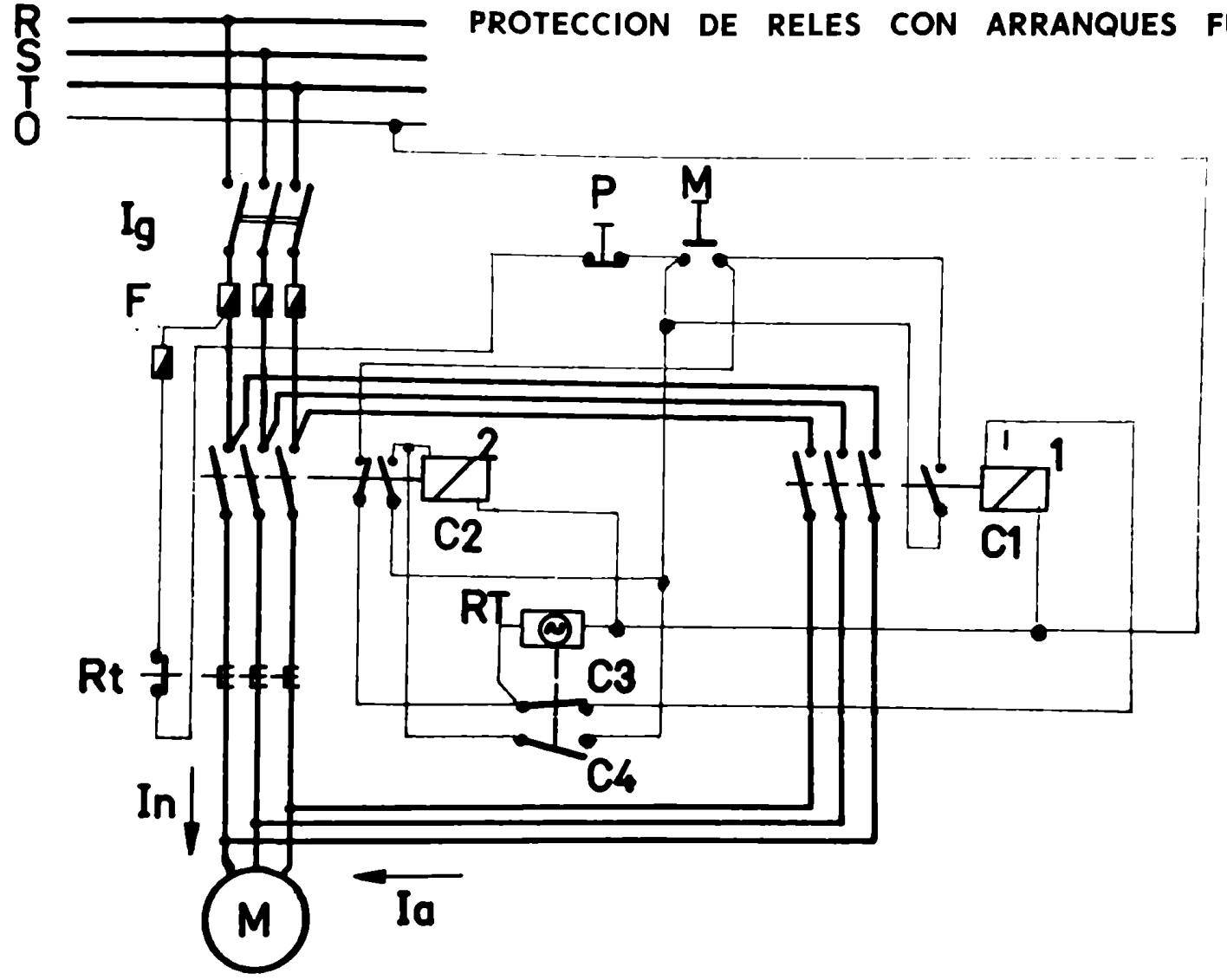
PROTECCION DE RELES CON ARRANQUES FUERTES

Los relés térmicos de protección contra sobreintensidades deben tener una capacidad y regulación de forma que la intensidad normal del motor I_n quede entre los límites de regulación; por ejemplo: un relé cuyo campo de regulación sea de 8'5 a 11 A podrá proteger aquellos motores que en arranque directo no tengan un consumo elevado y su corriente I_n nominal esté entre 8'5 a 11 A; es recomendable que para dejar cierto margen de regulación se ajuste a su límite inferior. Otro ejemplo: un relé con regulación 2'5 a 4 A protegerá motores cuya intensidad nominal esté entre dichos límites; si el motor es de 1'5 CV a 380 v, se regulará a su intensidad nominal $I_n = 2'7$ A.

En ciertas ocasiones en que los motores, aun de poca potencia, se arrancan directamente, absorben de línea una intensidad durante cierto tiempo superior a la regulación del relé; éste puede averiarse por el choque brusco de corriente en esos segundos, lo que exige que el relé sea protegido; para ello se monta en derivación un contactor temporizado (número **2** del esquema), siendo el primero que conecta el motor y, una vez embalado y a su velocidad normal, el temporizador conecta el contactor número **2**, pasando por el relé la intensidad nominal mientras que en los de arranque no lo hizo. Veamos el comportamiento:

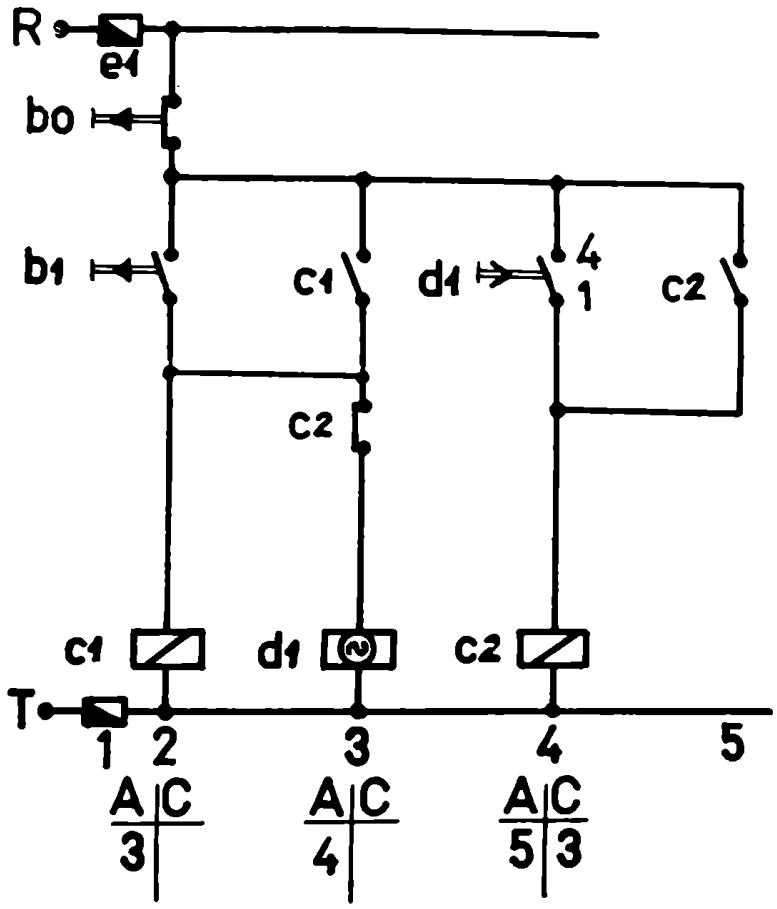
El relé de protección del motor **Rt** se ajusta a la intensidad I_n nominal y el relé temporizado **RT** a la intensidad de arranque I_a; se pulsa **M**, una vez conectado el I_g interruptor general, y la corriente fluye pasando por el contacto auxiliar del **2**, contacto c_3, y excita la bobina **1** y el relé **RT** en derivación; el mantenimiento lo hace por C_1; el relé **RT** está temporizando el tiempo de arranque I_a; cuando alcanza su velocidad normal abre el contacto c_3 y cierra el c_4; éste excita la bobina **2** del contactor normal de trabajo, quedando realimentada por el de permanencia c_2. Cuando la bobina **2** fue excitada, los contactos c_3 y c_4 vuelven a la posición de reposo inicial para un nuevo arranque. Debe tenerse en cuenta que los contactos C_3 y C_4 accionados por el relé **RT**, deben ir solapados, es decir, antes de abrir el C_3 debe cerrarse el C_4 y una fracción de segundo será suficiente, puesto que en caso contrario el motor se pararía al abrir el contactor C_1 antes de cerrar el C_2, ese tiempo hace estar a los dos contactores cerrados.

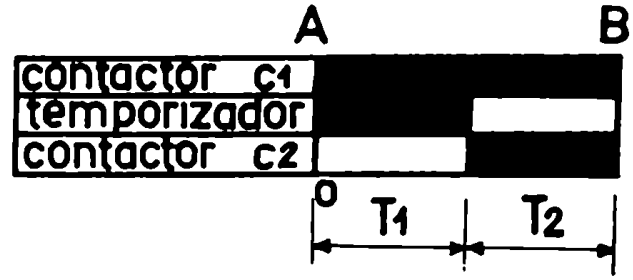
PROTECCION DE RELES CON ARRANQUES FUERTES



CIRCUITO DE MANIOBRA Y DIAGRAMA DE TIEMPOS

En los circuitos automáticos de conexión y desconexión de contactores tienen una aplicación la utilización de relés temporizadores para conseguir sucesiones de operaciones en ciclos de funcionamiento.
Estos relés temporizadores, como el nombre indica, temporizan, hacen transcurrir un tiempo de conexión o desconexión según un ajuste en períodos distintos; así, por ejemplo, tenemos el relé de tiempo del paso de estrella al triángulo en el arranque de motores; este relé es del tipo no cíclico o maniobra no repetida.
El presente circuito de maniobra consta de la conexión diferida de dos contactores, C_1 y C_2, cuyo comportamiento es el programado en el diagrama de tiempos adjunto; para conseguir la conexión diferida entre contactores se dispone de un relé temporizador d_1 con motor síncrono, que mueve un árbol de levas mediante un sistema de reducción.
Una vez fijada la temporización y transcurrido el tiempo, las levas accionan los contactores abriendo y cerrando, abriendo sólo o cerrando sólo, etc., según los tipos; en este caso el contactor C_1 es el primero que entra y, una vez temporizado, entra el C_2, como vamos a ver: Al pulsar el botón b_1 la corriente de mando se establece por fase **R**, fusible e_1, pulsador b_0, pulsador b_1, bobina c_1 a fase **T**; al soltar el b_1 se autoalimentan por el auxiliar de permanencias C_1; cuando entró el contactor, además, se deriva con este el relé d_1, el que empieza a temporizar (punto **A** del diagrama); así, durante el tiempo T_1 están bajo tensión el contactor C_1 y el relé; al finalizar esta programación el relé conecta los contactos **1-4** que alimentan a las bobina del contactor C_2, entrando éste, el que se autoalimenta con el contactor auxiliar C_2 y, además, otro contacto auxiliar, el C_2, en el circuito del relé, se desconecta de forma que el relé queda fuera de servicio una vez cumplida su función y, como se ve en el diagrama de tiempos, durante el período T_2 que podrá ser un tiempo limitado, están bajo tensión los dos contactores C_1 y C_2, mientras que el relé temporizador permanece desconectado.
Se volverá a la posición de reposo al pulsar el botón b_0 de paro general, punto **B** del diagrama.





T_1 conexión del temporizador d_1

T_2 conexión del contactor c_2

$T_1 + T_2$ conexión del contactor c_1

A impulsión sobre b_1

B impulsión sobre b_0

CIRCUITO DE MANIOBRA Y DIAGRAMA DE TIEMPOS

Los relés temporizadores pueden ser cíclicos y no cíclicos. Los primeros se utilizan en procesos que se repiten periódicamente, según un programa prefijado y una vez que se dio la orden de mando.

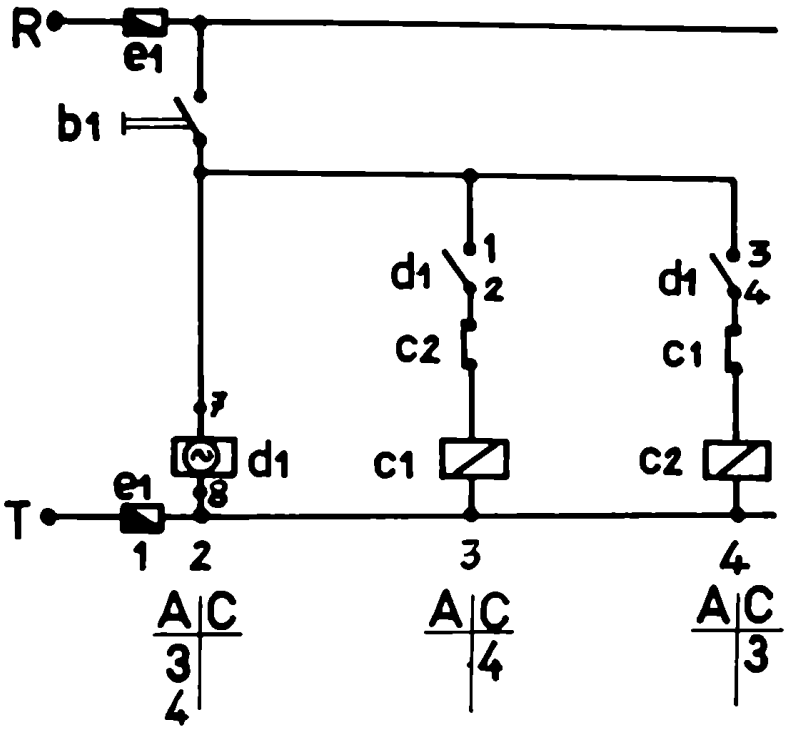
Los no cíclicos se emplean en maniobras con ciclos no repetidos; sólo actúan un tiempo prefijado conectando o desconectando o ambas cosas a la vez, pero sin repetición.

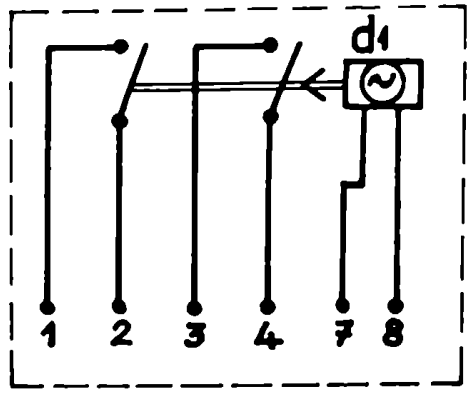
Los temporizadores cíclicos se llaman también programadores que ajustan un ciclo de funcionamiento con intervalos de tiempos previamente prefijados, y éstos pueden ser sin retorno a cero, es decir, que al dejar de alimentarlos, el motor síncrono cesa de funcionar, y cuando se vuelve a conectar se reanuda el ciclo donde terminó; otros pueden ser con retorno a cero, es decir, que al dejar de alimentarlos retornan al punto de partida.

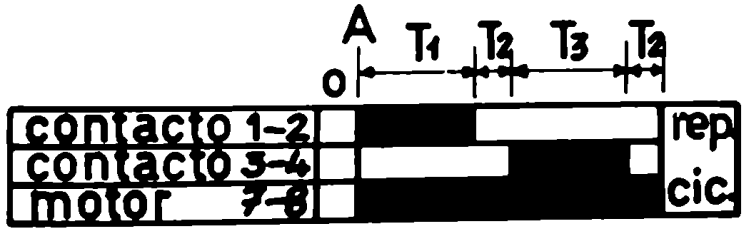
El esquema presente corresponde a un temporizador sin retorno a cero con su diagrama correspondiente de tiempos, presentado por la casa Starkstrom para la conexión de dos contactores de inversión de fases para máquinas con movimiento alternativo y una pausa o intervalo entre cada inversión de giro; el temporizador posee un motor síncrono $\mathbf{d_1}$ y dos juegos de contactos temporizadores **1-2** y **3-4**; las bornas **7-8** son las de la alimentación del relé. Su funcionamiento es como sigue: Al pulsar el botón de mando $\mathbf{b_1}$ la corriente alimenta el motor síncrono $\mathbf{d_1}$, el que conecta el juego de contactos **1-2** y el contactor $\mathbf{C_1}$ se alimenta por él, entrando y accionando el motor de trabajo en un sentido durante un tiempo $\mathbf{T_1}$, según el diagrama de tiempos; cuando entró el contactor $\mathbf{C_1}$, éste abrió el contacto $\mathbf{C_1}$, que deja enclavado contra cualquier falsa maniobra el contactor $\mathbf{C_2}$; de esta forma va transcurriendo el tiempo $\mathbf{T_1}$ y, una vez finalizado, el temporizador abre el contacto $\mathbf{d_1}$ en **1-2** durante el tiempo $\mathbf{T_2}$ prefijado, y finalizado éste, se conecta el $\mathbf{d_1}$ en **3-4**, que alimenta las bobinas del contactor $\mathbf{C_2}$, girando el motor en el otro sentido; a su vez este contactor abre los contactos auxiliares $\mathbf{C_2}$ en el circuito del contactor $\mathbf{C_1}$, dejándolo enclavado; el temporizador va contando el tiempo hasta que, finalizado el $\mathbf{T_2}$, abre el contacto $\mathbf{d_1}$ en **3-4**, parándose el motor de la máquina y vuelve al tiempo de paro $\mathbf{T_2}$, transcurrido el cual empieza nuevamente el ciclo con el contactor $\mathbf{C_1}$, y así sucesivamente.

Debe observarse en el diagrama de tiempos que el motor síncrono del temporizador permanece conectado continuamente.

CIRCUITO DE MANIOBRA Y DIAGRAMA DE TIEMPOS







A conexión del programador
T_1 tiempo de conexión contacto **1-2**
T_2 tiempo de desconexión contacto **1-2, 3-4**
T_3 tiempo de conexión contacto **3-4**

CIRCUITO DE MANIOBRA Y DIAGRAMA DE TIEMPOS

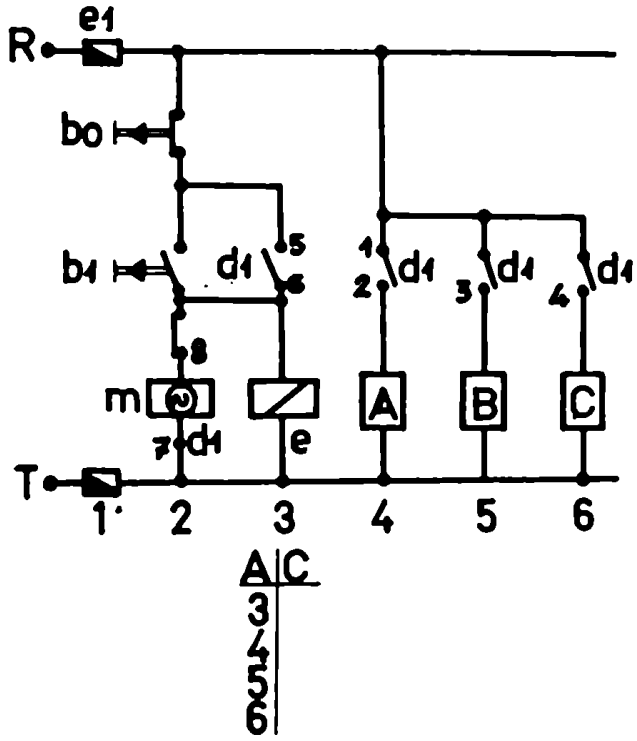
Se ha dicho en el ejercicio anterior que los temporizadores cíclicos o programadores pueden ser sin retorno a cero y con retorno a cero. En el presente ejercicio se trata del funcionamiento de un temporizador programador con retorno a cero, es decir, al cesar la alimentación los contactos retornan al punto de partida, empezando el ciclo desde el principio una vez que se vuelve a alimentar. Consta de un motor **m** y un electroimán **e** para embragar el motor con el árbol de levas que accionan los contactos, según esquema simplificado y diagrama de tiempos presentados por Starkstrom en sus apuntes de automatismo industrial.

Veamos su funcionamiento:

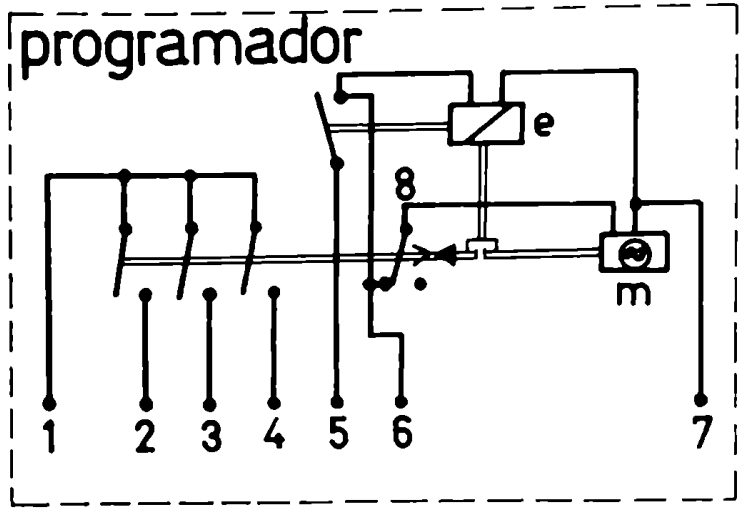
En la posición de reposo todos los contactos están abiertos, según esquema simplificado, según programador y punto cero del diagrama de tiempos; cuando pulsamos el botón b_1, en el primer impulso se alimenta el motor sincrono **m** y el electroimán de embrague **e**, ambos en derivación; con ello se consigue un segundo impulso en el que el temporizador conecta los contactos **1-2**, y el embrague, al actuar cerró también los contactos **5-6**, quedando el circuito **A** conectado al cerrarse los contactos **1-2** y el temporizador sigue descontando el tiempo T_1, que es el de conexión de **1-2**.

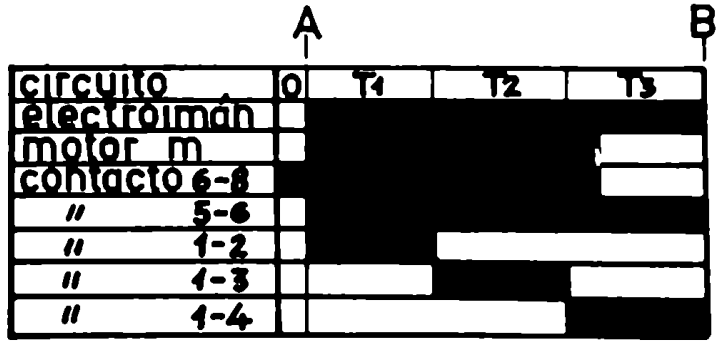
Cuando ha transcurrido el tiempo T_1 se abren los contactos **1-2** que preparó el circuito **A** y se cierran los contactos **1-3**, que hacen actuar el circuito **B**, empezando a transcurrir el tiempo T_2, según indica el diagrama de tiempos, y mientras transcurre dicho período las levas van girando hasta que finalizado abren los contactos **1-3** y se cierran los **1-4**, que dan alimentación al circuito **C** durante el período T_3; ahora, al poco de conectarse los contactos **1-4**, el motor síncrono se para para abrirse los contactos **6-8** merced a una leva, con objeto de parar el motor; ahora sólo quedan cerrados los contactos **5-6**, que mantienen el motor embragado, pero sin funcionar este y los **1-4**, hasta que transcurrido el tiempo T_4 la leva los abre; cuando se pare b_0 se corta la alimentación al electroimán, desembragándose y cerrando los contactos **6-8** que deja en condiciones iniciales o retorno a cero del temporizador para un nuevo ciclo de funcionamiento.

CIRCUITO DE MANIOBRA Y DIAGRAMA DE TIEMPOS



A conexión del programador
B dexconexión del program.
T_1 tiempo conexión contacto 1-2
T_2 " " " 1-3
T_3 " " " 1-4





CAPITULO II

Consta este capítulo de doce esquemas referentes a una de las maniobras más importantes en los motores: el cambio del sentido de rotación en el giro de los mismos. Para ello se emplean procedimientos muy sencillos, entre ellos, un conmutador bifásico o trifásico, un inversor rotativo, dos contactores, siendo estos últimos los más empleados desde el punto de vista de la automación a distancia.

Esquema núm. 27. — Inversión del sentido de rotación.
Esquema núm. 28. — Inversor de giro rotativo.
Esquema núm. 29. — Inversión del sentido de rotación.
Esquema núm. 30. — Esquema de mando para inversión.
Esquema núm. 31. — Esquema de mando para un motor.
Esquema núm. 32. — Instalación cambio de giro de un motor.
Esquema núm. 33. — Contactores de inversión de giro.
Esquema núm. 34. — Esquema de mando de inversión.
Esquema núm. 35. — Inversor con finales de carrera.
Esquema núm. 36. — Inversor ICTAR (DWLSM).
Esquema núm. 37. — Esquema de mando de inversión ICTAR.
Esquema núm. 38. — Arrancador inversor a resistencias estatóricas.

CAMBIO DEL SENTIDO DE GIRO EN UN MOTOR TRIFASICO ASINCRONICO

Para cambiar el sentido de giro en estos motores es preciso invertir en su conexión dos cualesquiera de las tres fases.

Los motores trifásicos de inducción constan de tres devanados o arrollamientos, formando un sistema de corrientes polifásicas; cuando estas corrientes recorren dichos devanados se produce un campo magnético giratorio con una intensidad de campo constante; pero su dirección es variable como consecuencia de la corriente alterna, la cual varía de valor pasando por cero en cada alternancia; como las bobinas correspondientes a cada devanado están desfasadas un tercio de período, el campo magnético creado por ellas es la composición de los tres campos alternativos desfasados 120° y gira en un sentido único correspondiente al de las fases en orden decreciente, según puede verse en el esquema número 27, detalle **(a)**, siguiendo las flechas de **1-2-3** arrollamientos. Este campo magnético, que tiene su recorrido en el estator cruzando el rotor según el número de pares de polos, obliga y arrastra tras de sí al rotor o armadura que completa el circuito magnético y es cortado por sus líneas de fuerza, las cuales producen corrientes inducidas. Como hemos dicho, el sentido de giro del rotor es función del sentido de giro del campo giratorio. Si cambiamos el sentido en el campo magnético giratorio lo habremos conseguido en el rotor también; para ello, si se permutan dos cualesquiera de las fases, el campo giratorio sigue haciéndolo en el orden de las fases decrecientes. Pero como han sido permutadas dos, el giro será ahora el contrario (ver detalle **(b)** en el mismo esquema citado); antes era en el orden y sentido **1-2-3** de izquierda a derecha, detalle **(a)**, y ahora lo es de **1-2-3** de derecha a izquierda, luego el campo ha sido

invertido y, en consecuencia, el giro del rotor tras de él. Queda como definitivo que permutando dos de las tres fases varían automáticamente el sentido de giro del campo magnético creado por el sistema trifásico de corrientes y del motor.

Así, en el esquema número 27 correspondiente a este capítulo se ve el cambio en la conexión de las fases **R** y **S** entre sí.

Para permutar dos fases en una línea o motor puede conseguirse de varias formas: parando el motor y, con línea desconectada, cambiar dos fases. Ahora resulta este procedimiento poco práctico por la pérdida de tiempo y tener que hacer uso de herramientas; por ello suele realizarse empleando conmutadores bifásicos y trifásicos que al cambiar de posición quedan dos fases permutadas, pero nunca las tres entre sí, pues no se conseguiría nada (véase el esquema número 27 con conmutadores de palanca manual). No obstante, este procedimiento queda superado por incorporarse a la técnica eléctrica otros aparatos que han revolucionado en la automatización, como vamos a ver. En el esquema número 28 se emplea un conmutador de fases rotativo donde se ve que las fases **S** y **R** se permutan al pasar de la posición de **1** a la **3** y viceversa, mientras que la **T** permanece invariable. En los esquemas siguientes aparecen incorporados para este cometido los aparatos contactores estudiados en el capítulo primero, empleando dos contactores, uno para cada sentido de giro y enclavados ambos entre sí eléctricamente, de forma que al conectar uno el otro queda sin posibilidad de hacerlo mientras el primero está en trabajo; este sistema es seguro, cómodo y rápido, con mando a distancia y señalizaciones de cada uno de los sentidos de giro (véase el esquema número 36 del catálogo de Starkstrom); el cambio de giro se realiza al pulsar un botón de mando, habiendo pulsado previamente el de parada. En otros circuitos muy corrientes en la actualidad el cambio de sentido de giro del motor lo realiza un final de carrera o micro accionado por un tope que al llegar a tocarle abre el circuito de mando (véase el esquema número 35). La inversión se puede aplicar a cualquier tipo de mecanismo empleando botoneras, micros, finales de carrera, palancas, topes, boyas, etc.

Siempre que se termina de instalar un motor —y antes de ponerlo en funcionamiento— debe comprobarse el sentido de giro; en algunas máquinas puede ser indiferente, pero generalmente precisan que sea único, como lo es, por ejemplo, una bomba centrífuga, una esmeril, una sierra de cinta, etc., mientras que un torno, un ascensor, una grúa, precisan los dos sentidos de giro. Si al comprobar en un motor con pulsador de marcha y paro que no tiene el sentido de giro que se desea se cambian entre sí dos fases, quedando resuelto. Una operación que se consigue con el cambio de giro es el frenado en seco de un motor, o frenado en contracorriente, operación que suelen emplear los torneros, cambian el sentido de giro antes de que el motor pare para ganar tiempo, cosa que no es aconsejable por el brusco cambio en el arranque y el excesivo consumo de potencia, haciendo peligrar la línea por la caída de tensión y el motor por la carga absorbida, así como los contactores y relés de protección si no están previstos para ello y sobredimensionados.

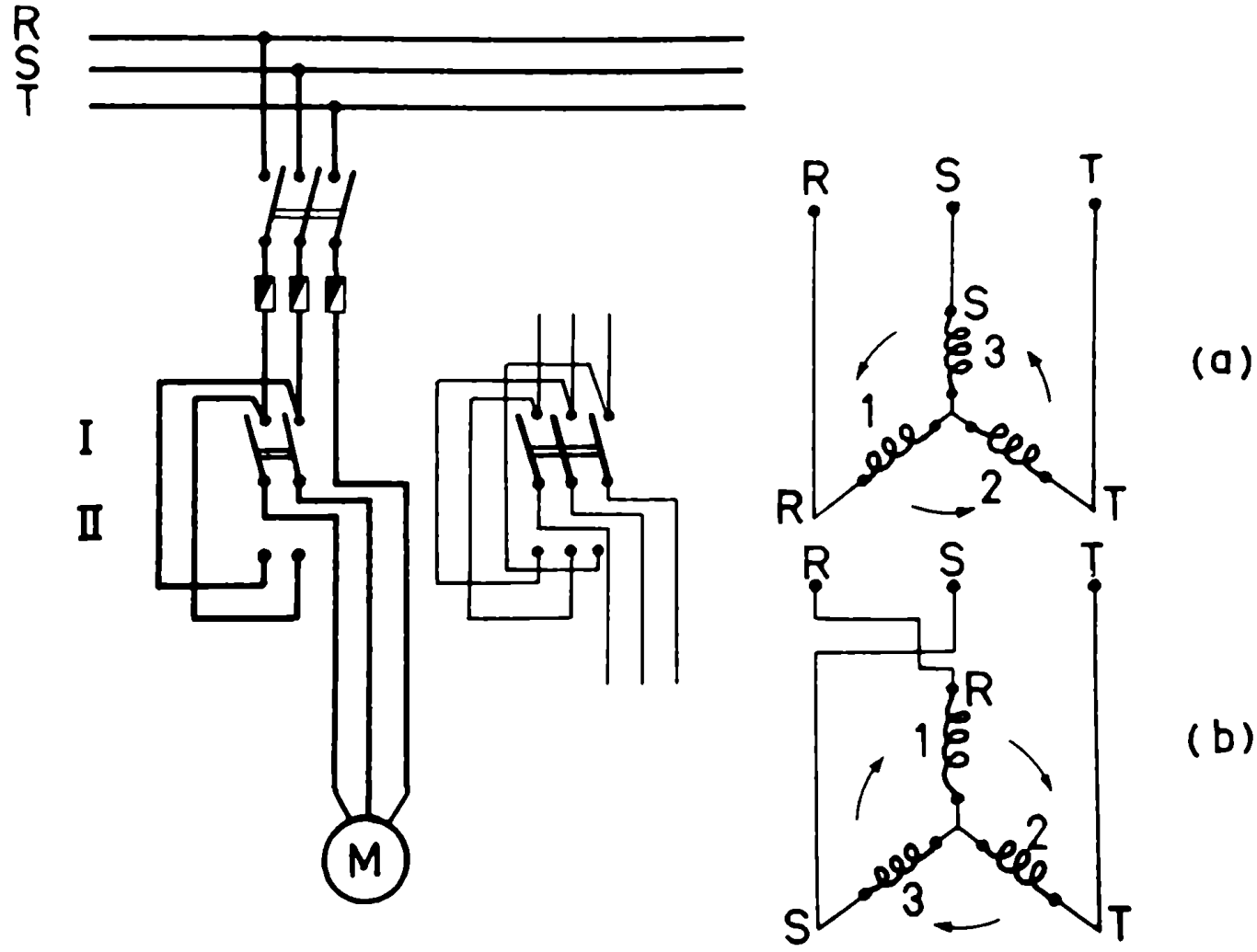
INVERSION DEL SENTIDO DE ROTACION

En la práctica se presentan casos de necesidad de invertir el sentido de giro de un motor, como son especialmente en las máquinas herramientas. Se hace necesario, sobre todo, en tornos, fresadoras, etc. En la industria se emplea en muchísimos casos (grúas, cabrestantes, aparatos elevadores como montacargas, ascensores, etc).

Un sistema de corrientes polifásicas, como es el trifásico, producen un campo magnético giratorio de intensidad de campo constante y de dirección variable sobre las bobinas desfasadas un tercio de período; el campo creado, composición de los tres campos alternos desfasados 120°, gira en un sentido, en el decreciente de las fases, detalle (**a**). Este campo arrastra en dicho sentido tras de sí al rotor o armadura, que es cortado por el campo magnético, induciéndose en él corrientes inducidas; por lo tanto, para conseguir que el motor gire en sentido contrario del anterior hay que invertir el giro del campo magnético giratorio; como éste era el de las fases decrecientes, es decir **1, 2, 3** según (**a**), se permutan dos fases cualesquiera, con lo que el campo habrá sido invertido y también el movimiento del rotor, detalle (**b**). Resumiendo diremos que colocando un conmutador de dos fases como indica el esquema en la posición **I**, las fases le llegan al motor en el orden de **RST**, pero al conmutar a la posición **II**, las fases **R** y **S** se permutan, la **R** pasa al centro y la **S** pasa a la izquierda, quedando el motor con la llegada de **SRT.**

En (**a**) vemos que las tres fases corresponden con sus bobinas, mientras que en (**b**) están cambiadas la **1** y **3**, quedando el giro del campo cambiado. Por lo tanto, siempre que se desee el cambio de rotación de un motor trifásico se permutarán dos fases cualesquiera, nunca las tres, pues el efecto sería nulo. Los procedimientos para conseguirlo son múltiples, como seguiremos viendo. No debe cambiarse el giro de un motor sin que antes se haya parado este, pues el cambio de giro a contracorriente no es aconsejable por el exceso de carga, perjudicando al motor y a la línea.

INVERSION DEL SENTIDO DE ROTACION

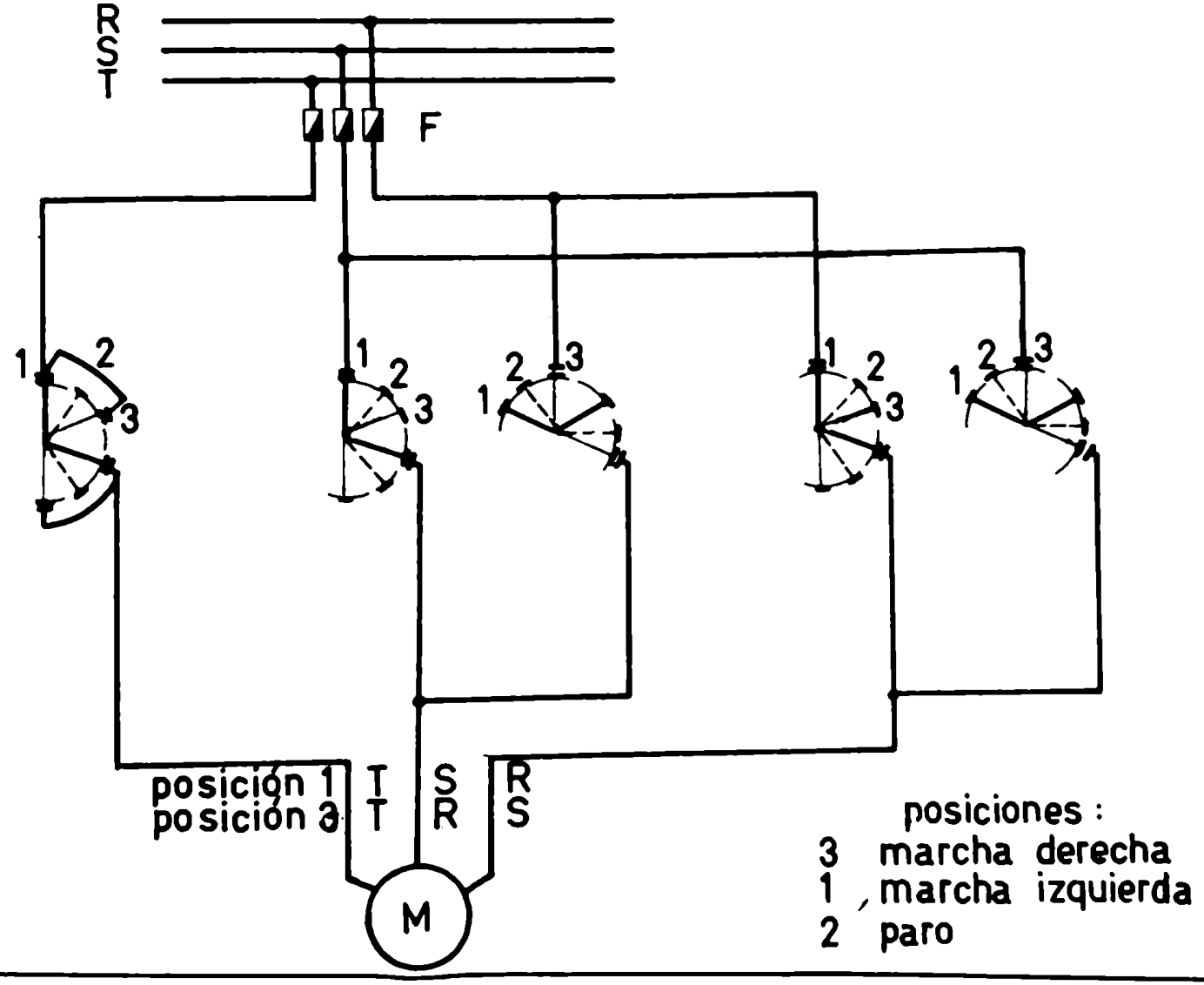


INVERSOR DE GIRO ROTATIVO

En el esquema anterior se ha tratado de demostrar cómo se consigue cambiar el sentido de giro de un campo giratorio trifásico y en consecuencia el del rotor, que es lo buscado, y de una forma sencilla y práctica se monta un conmutador bifásico para invertir dos fases, única condición que se requiere; pero una fase sigue directa, no se corta; puede montarse un conmutador trifásico teniendo cuidado de que la tercera fase no se conmute como se indica en aquel esquema. No obstante, ante esta sencillez las técnicas y el progreso han ido sacando al mercado otros tipos de inversores, unas veces más estéticos, de mejor montaje en cuadros pupitres, de mayor capacidad con menor espacio, otros automatizados, mandos a distancia, etc.

En este caso se trata de un inversor rotativo. Consta de varios anillos y contactos, piezas aislantes, un eje con un mando de giro manual mecánico y tiene tres posiciones para situar el mando. En la posición del esquema número 1 las corrientes llegan al motor por el trazo negro grueso y continuo; si giramos el mando hacia la derecha **2**, los puentes del conmutador no darían paso a las corrientes hacia el motor, porque ambos quedan abiertos; este el punto de motor parado; volvemos a girar el mando a la posición **3**, y ahora los puentes dan paso a las corrientes por el trazo rojo continuo y vemos que la fase **T** llega al motor por el mismo hilo, luego no cambió, mientras que la **S** se ha cambiado con la **R** llegando al motor invertidos. Así que la posición **2** nos marca motor parado; la **1**, sentido de giro (por ejemplo, a izquierdas) y la **3** a derechas. Posición **2** marcada en trazos.

INVERSOR DE GIRO ROTATIVO



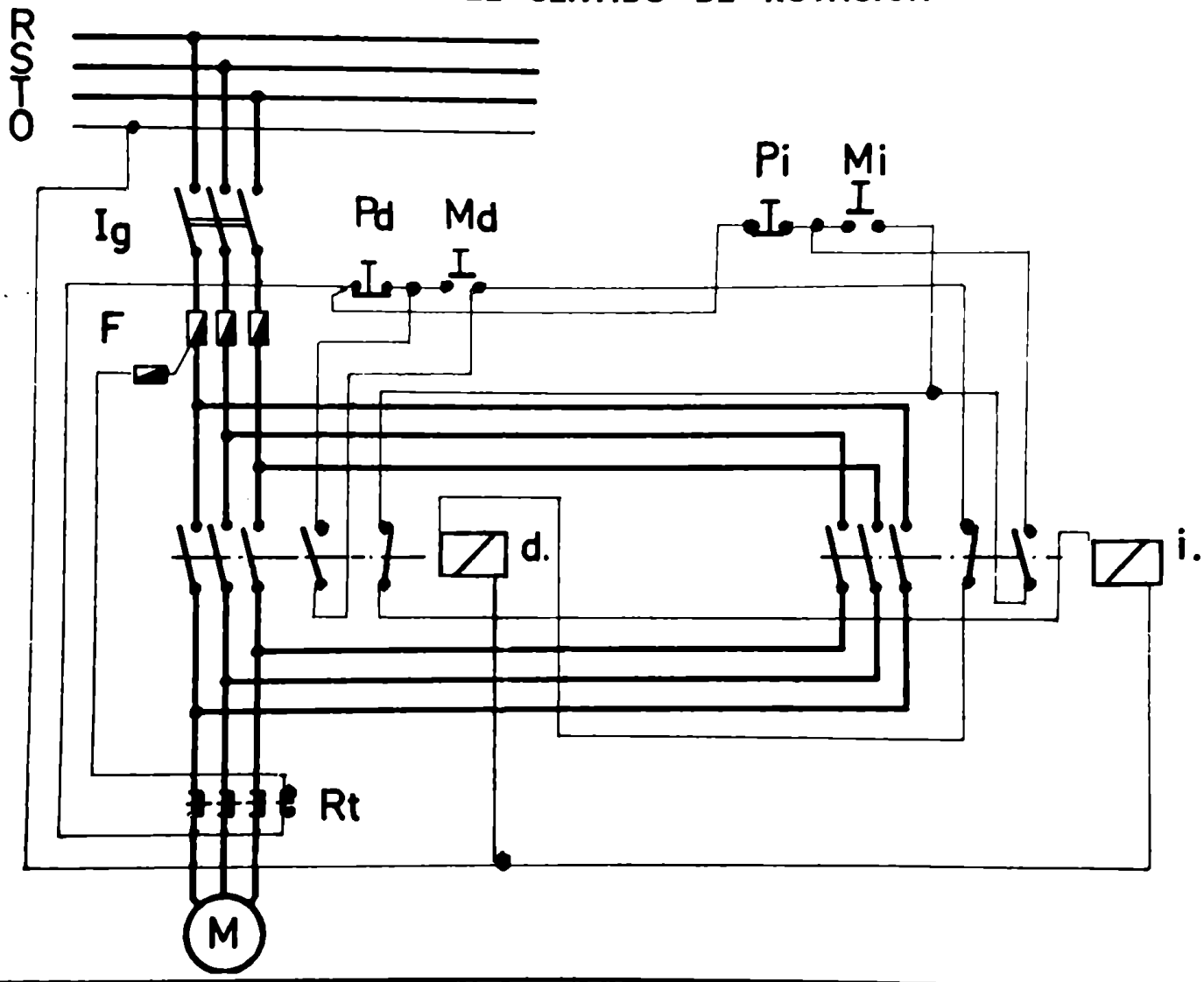
INVERSION DEL SENTIDO DE ROTACION

Dando otro paso hacia adelante pasamos del inversor rotativo manual mecánico al inversor automatizado con mando a distancia, lo que representa en la automatización un avance de mucha importancia al conseguir invertir el sentido de rotación de un motor o máquina que sea desde cualquier punto.

Este cometido queda resuelto con el elemento eléctrico llamado contactor; para ello necesitamos dos contactores: uno, que nos conectará el motor para que funcione a derechas, y otro, para izquierdas. La condición, como se sabe, debe ser que entre los dos inviertan dos fases, es decir, uno conecta las fases directas de línea a motor y el otro con dos invertidas.

Disponemos de un motor conectado a la red mediante un interrumptor general **Ig**, un juego de fusibles **F** y un contactor de la capacidad necesaria, y por último, el correspondiente relé de protección. La línea red motor ya está completa; ahora montamos dos juegos de pulsadores marcha **M** y paro **P** y otro contactor. Este contactor a su entrada, como se ve, tiene dos fases invertidas, la **S** y la **T**, con lo que queda conseguida la inversión; la salida del mismo sigue su orden, y sólo queda por resolver el problema más importante, y es que, disponiendo de dos pulsadores de puesta en marcha, puede ocurrir que al pulsar los dos a la vez o pulsar uno cuando se pulsó anteriormente el otro, si estos contactores se hubiesen montado corrientemente, ¿qué ocurriría?, que habría un cortocircuito entre las dos fases, las **S** y **T**, con las consecuencias en primer lugar de la fusión de los fusibles y posiblemente que los conductores o segundo contactor se quemaran. Para evitar este encuentro entre fases debe haber una correspondencia entre los dos contactores, es decir, que cuando uno haya sido conectado y esté en trabajo, aunque se pulse intencionadamente, o por error, el segundo no conecte; esto lo vamos a ver en el siguiente esquema, que es el de mando, pues igualmente se deduce de éste.

INVERSION DEL SENTIDO DE ROTACION



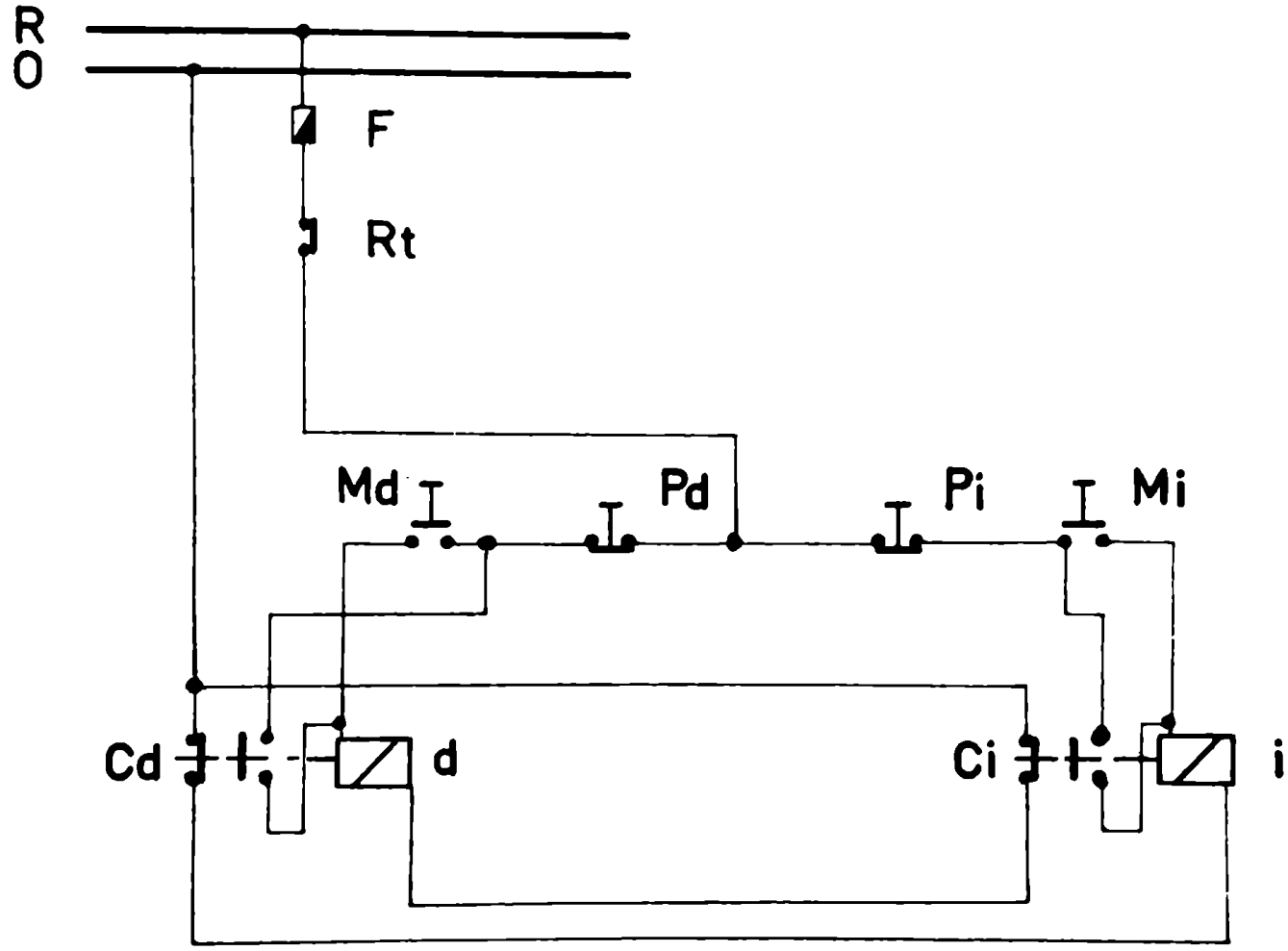
ESQUEMA DE MANDO PARA INVERSION

Como se indicó en la descripción del esquema anterior, aquí se trata del esquema de mando para invertir el sentido de giro de un motor; para ello debe conseguirse evitar que los dos contactores accionen a la vez o que uno conecte cuando anteriormente ya lo hizo el otro, deben estar enclavados, y para ello cada contactor debe llevar un juego de contactos auxiliares que en reposo, es decir, a contactor desconectado, están cerrados, y así el circuito de excitación de la bobina de cada contactor pasará por el juego de contactos cerrados del otro contactor, de forma que si se pulsa y excita una bobina este contactor cerrará el circuito principal y abrirá los contactos auxiliares que sirven en el circuito de mando del otro contactor, que no se podrá excitar, aunque se pulse por estar su circuito abierto, y sólo se podrá hacer cuando se cierre, y ello será cuando abra el contactor que está en marcha y cierre los contactos auxiliares.

Vamos a resumirlo prácticamente con el esquema.

Pulsamos en **Md** para que gire a derechas; la corriente de mando pasará fase **R**, fusible **F**, relé térmico **Rt**, pulsador **Pd** y **Md**, bobina **d** y ahora por el contacto auxiliar cerrado **ci** del otro contactor a terminar en el neutro. Al excitarse **d** cierra el contacto de permanencia de su bobina y abre el **cd**; al abrir **cd** quedó el contactor **i** enclavado, pues —aunque se pulse en **Mi**— el contactor no funciona; el circuito de su bobina, el **cd**, quedó abierto, y si ahora queremos pasar el sentido de giro a derechas y que gire a izquierdas lo primero se pulsa en **Pd**, se desexcita la bobina **d**, cerrando los contactos auxiliares **cd** que permiten la puesta en marcha del contactor **i** al pulsar en **Mi**, que abrirá los contactos **ci** que sirven para cerrar el circuito del **d**, dejándolo bloqueado.

ESQUEMA DE MANDO PARA INVERSION



ESQUEMA DE MANDO DE UN MOTOR

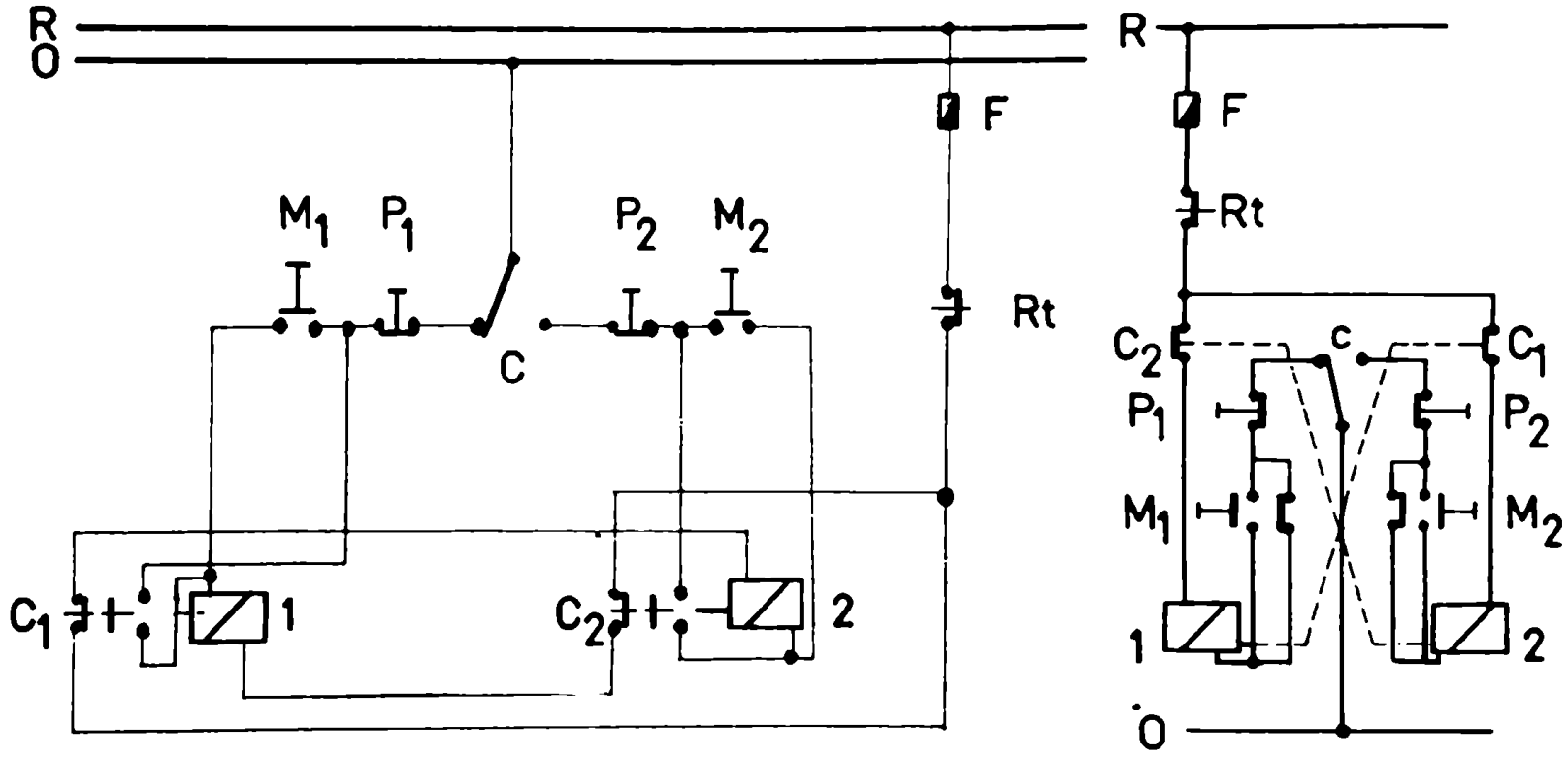
Todavía podía realizarse una nueva seguridad en el enclavamiento de unos contactores para la inversión de giro en un motor colocando un conmutador en el hilo común de alimentación, en el neutro. Con este conmutador verdaderamente podría eliminarse el enclavamiento de los dos contactores, puesto que nunca puede cerrar circuito en las dos ramas o circuitos de excitación a la vez; o está en una u otra, aunque pueden subsistir como prueba de una seguridad absoluta.

Si el motor **1** gira a derechas, para que lo haga, el conmutador estará en la posición del esquema, pulsaremos el botón M_1 y la corriente seguirá el circuito siguiente: fase **R**, fusible **F**, relé de sobreintensidad, contacto auxiliar de enclavamiento c_2, bobina **1**, pulsadores M_1 y P_1, conmutador **C** y neutro; la bobina **1** cerrará su contacto de autoalimentación y abrirá el contacto auxiliar C_1 para enclavamiento de la bobina **2** y nunca ésta podrá actuar, aun en la posibilidad de avería del conmutador que hiciera puente en los dos circuitos. Si ahora se precisa que gire el motor a izquierdas se pulsa en el botón P_1 de parada; la bobina **1** se desexcita, para el motor y cierra el contacto C_1, dejando preparado el segundo circuito; se pasa el conmutador a la derecha y se pulsa el botón M_2 para que la corriente siga el circuito siguiente: fase **R**, fusible **F**, relé de sobreintensidad **Rt**, contacto auxiliar C_1, bobina **2**, pulsadores M_2 y P_2, conmutador **C** y neutro; la bobina **2** cerrará un contacto de autoalimentación y abrirá el contacto auxiliar c_2 para el enclavamiento de la bobina **1**, que nunca podrá funcionar mientras no se pare el contactor **2** correspondiente a la bobina 2.

Podría eliminarse el conmutador **C** y quedaría el esquema en las mismas características del estudio anterior.

Como representación funcional del esquema de mando puede considerarse el adjunto.

ESQUEMA DE MANDO DE UN MOTOR



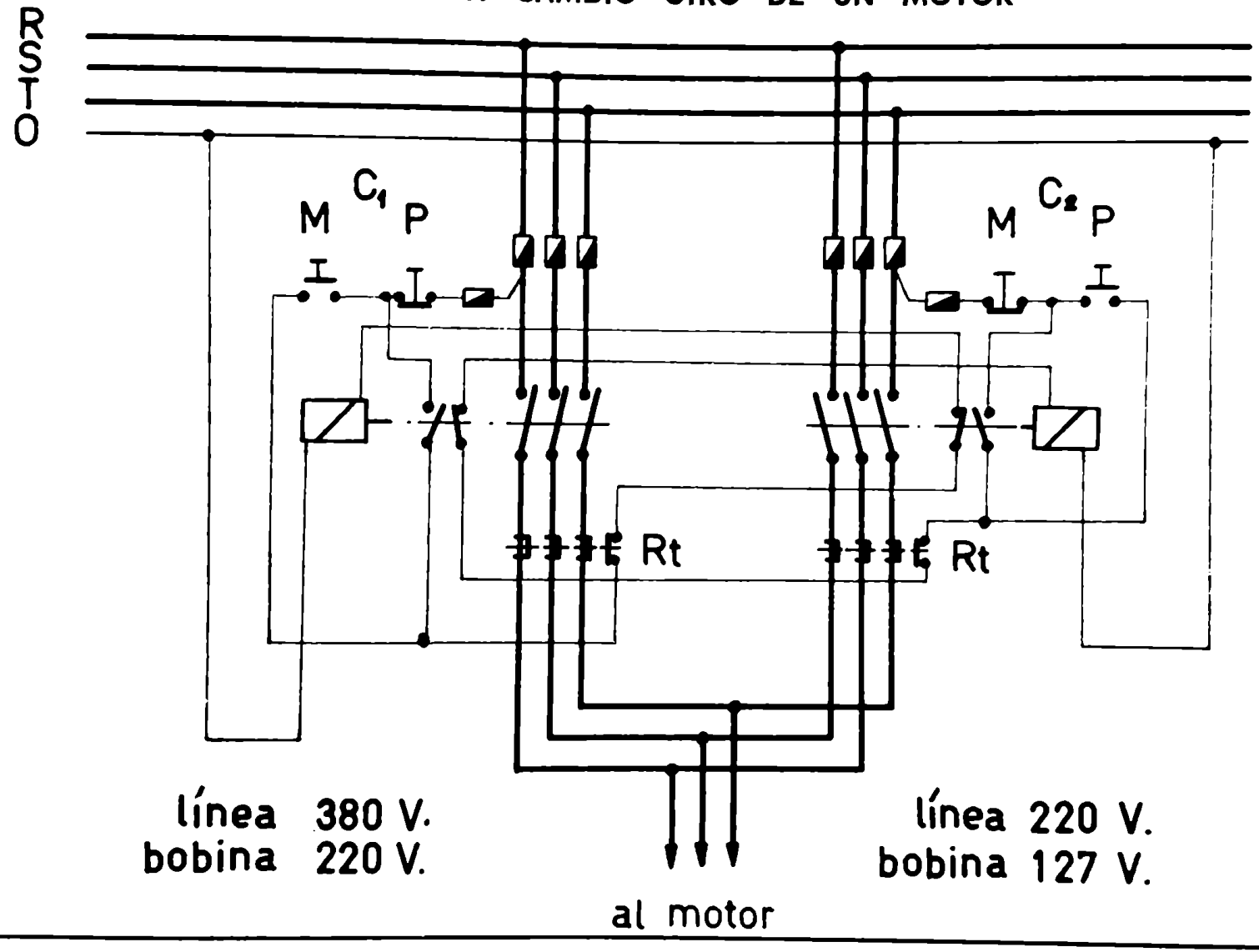
INSTALACION CAMBIO GIRO DE UN MOTOR

Generalmente en la instalación para cambiar el sentido de giro de un motor se monta un solo relé térmico, colocado en la línea común de salida de los dos contactores, como se ha visto anteriormente; no obstante, se presentan casos en los que es más conveniente que haya dos relés de protección, como se va a ver más adelante.

Los bimetales del relé térmico se van calentando por el calor producido en las resistencias calefactoras; a medida que la corriente sea mayor también lo será la temperatura que según la fórmula $Q = 0'24\ RI^2t$, que nos dice es proporcional a la resistencia, al tiempo y al cuadrado de la intensidad, la resistencia es constante; pero el tiempo va aumentando y si la intensidad sube forzosamente el calor aumentará, y conjuntamente con el calor los bimetales se curvarán proporcionalmente a la temperatura. Si en un motor el cambio de giro es muy continuo, con conexiones y desconexiones muy frecuentes, puede que el consumo no sea normal, sino que exista cierta sobreintensidad que vaya calentando los bimetales del relé a cada conexión sin darles tiempo a recuperarse, es decir, a enfriarse. Jamás se para y pone en marcha inmediatamente en sentido opuesto si ambos contactores están entrando y saliendo de forma bastante continuada; entonces es conveniente montar dos relés, los cuales trabajarán alternativamente cada uno en un sentido con su contactor correspondiente: cuando uno trabaje el otro se estará enfriando durante el tiempo de segundos o minutos en que esté parado. De esta forma en los arranques muy frecuentes, en los que absorbe más corriente el motor, no se irá acumulando el calor en un mismo relé. En el esquema se ven los dos relés **Rt**, que sólo afectan a su circuito de mando correspondiente sin otra relación que las exigidas. Para los enclavamientos de los contactores, como ya se trató en esquemas anteriores, y repitiendo, diremos que cada circuito de mando de un contactor pasa por un juego de contactos auxiliares del otro y son abiertos por este último cuando se excita para que aquél quede bloqueado o enclavado.

Caso de disparo de un relé por sobreintensidad se desbloquea pulsando un botón unos segundos más tarde para tener en condiciones de marcha otra vez el motor.

INSTALACION CAMBIO GIRO DE UN MOTOR

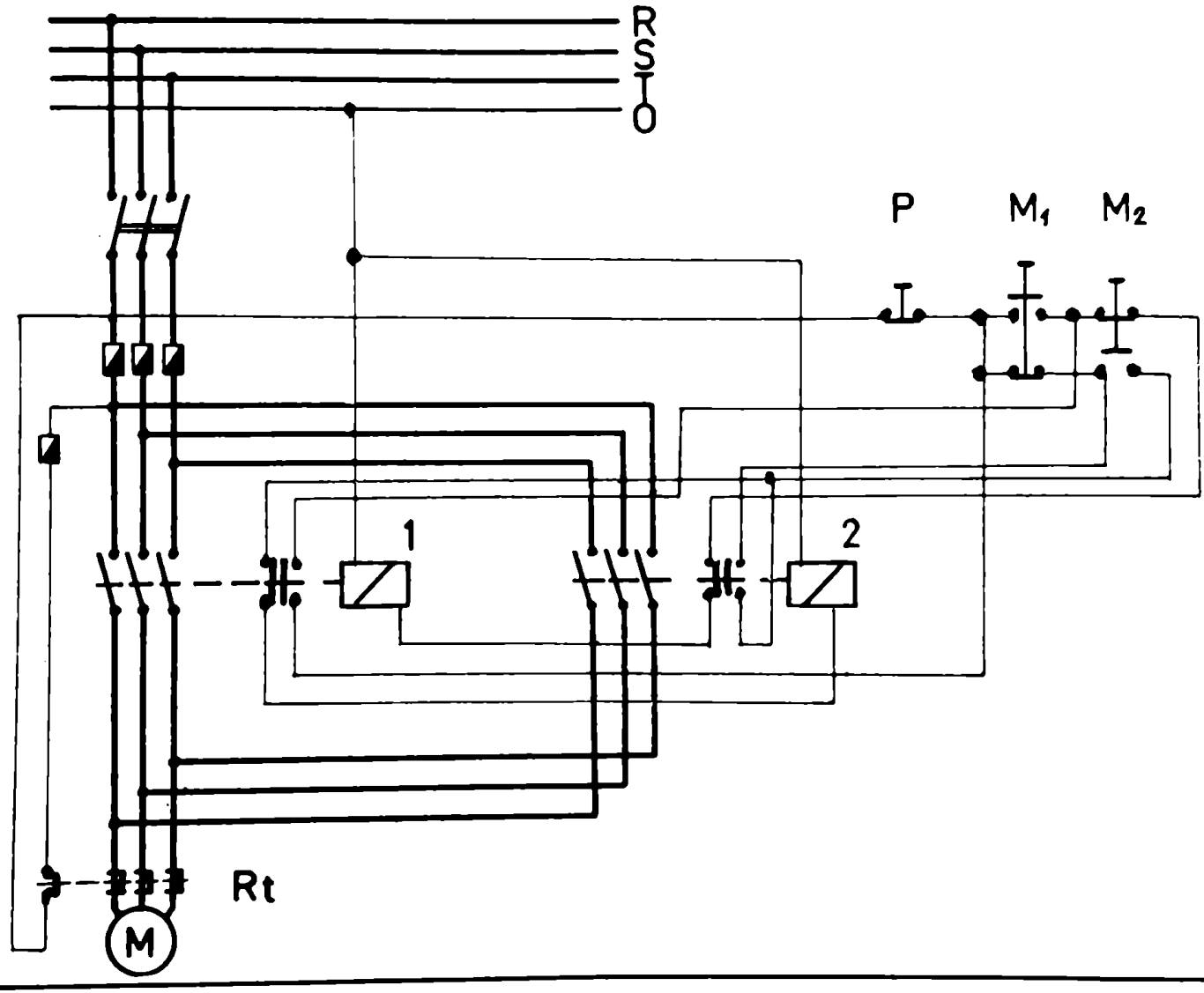


CONTACTORES DE INVERSION DE GIRO

En los esquemas anteriores se han considerado en circuitos para la inversión los pulsadores simples para abrir o cerrar; son pulsadores corrientes los que una vez cesada la presión que se les da con el dedo vuelven a su posición anterior de abierto, en reposo para los de puesta en marcha y de cerrado en reposo para lo de paro; este retroceso lo realizan a merced de un muelle antagonista que al pulsar se comprime y al soltar se liberará su compresión mecánica.
Generalmente se montan pulsadores de doble efecto, con contactos abiertos y contactos cerrados como los indicados en el presente esquema; ambos para la puesta en marcha M_1 y M_2. Constan estos conjuntos de una cámara de contactos, en este caso dos juegos, uno abierto y otro cerrado; un eje que porta los contactos móviles, que son los desplazables con dicho eje, en cuyo extremo se pulsa, y en el otro va el muelle antagonista para volver a su posición, como se ha dicho.

El esquema en cuestión es similar a otros de inversión ya tratados, con algunas diferencias: la primera es que además de poseer el enclavamiento cada contactor con contactos auxiliares en el otro, lleva un segundo enclavamiento en los propios pulsadores; en efecto, al pulsar M_1 damos paso a la corriente de mando del contactor **1**, pasando previamente por el pulsador M_2 por los contactos cerrados en reposo y luego por los del contactor **2**; la segunda diferencia es que el mantenimiento de la bobina se tiene por el mismo pulsador M_2 por el hilo embornado entre los dos pulsadores, parte superior; si se pulsara en M_2 se pararía igualmente que desde el paro general **P**; igual ocurre al girar en sentido contrario y pulsar en M_2: el mantenimiento de **2** pasa por el contacto cerrado del M_1 entre ambos pulsadores, parte inferior y si se pulsa M_1 se pararía igualmente que desde el de paro **P**; de esta forma, además de duplicar el enclavamiento se duplica la disponibilidad de parar.

CONTACTORES DE INVERSION DE GIRO



ESQUEMA DE MANDO DE INVERSION

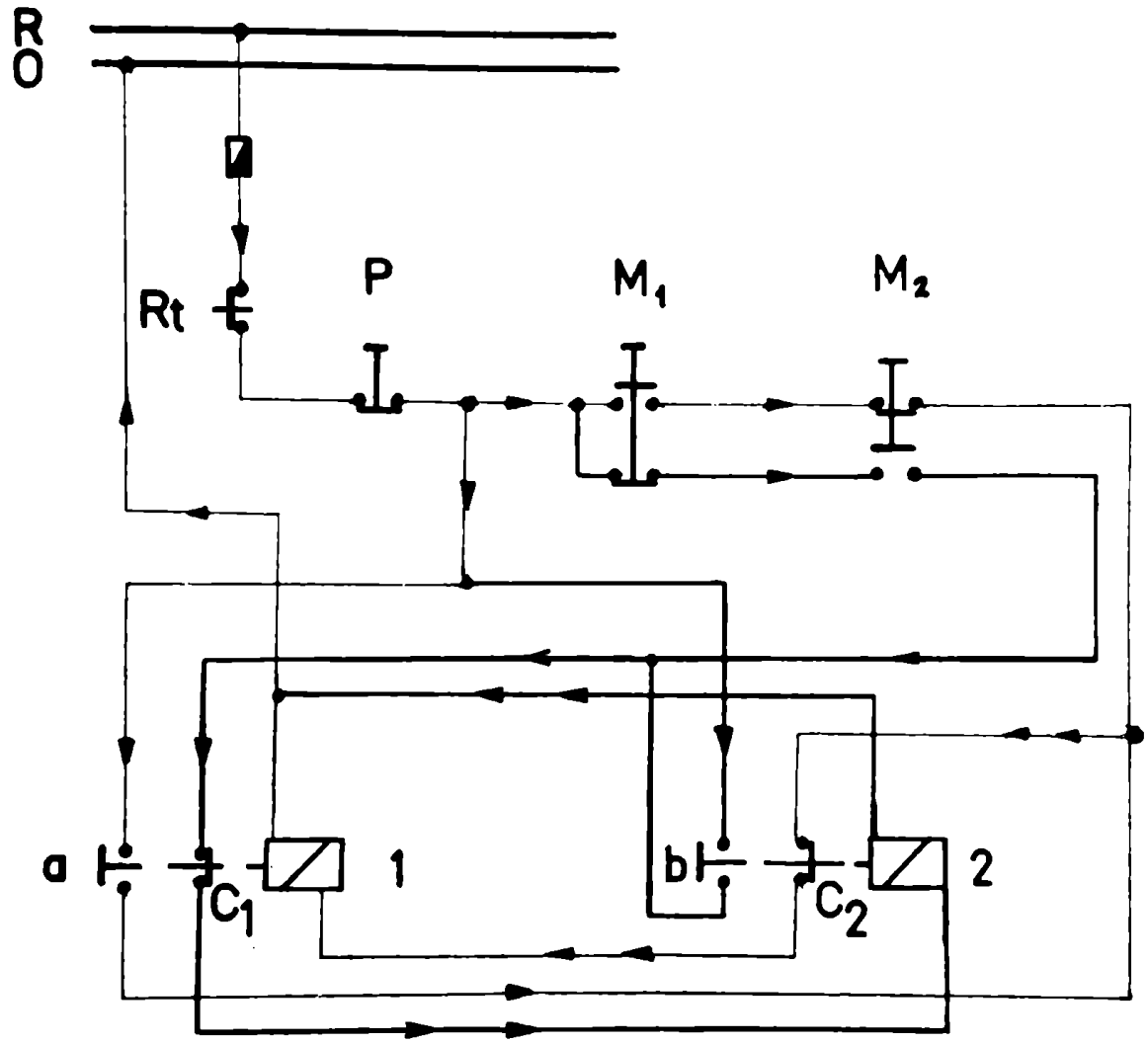
Vamos a comentar el caso más corriente de inversión del sentido de giro de un motor; es muy parecido a los anteriores, pero se hacen algunas variantes entre montajes de contactores con objeto de que el lector, el electricista y en general el estudiante en principios en la automatización, disponga de una gama amplia de esquemas en los que se habitúe a diferenciar, variar conexionados, etc. Por ello en varios existirán pequeñas diferencias entre sí, y de esta forma sabrá aplicarlas prácticamente.

En este ejercicio, muy racional, sencillo y práctico, se representa la inversión por dos pulsadores de marcha derecha e izquierda M_1 y M_2, respectivamente, y como paro solamente por el pulsador **P** tipo sencillo; los otros son de cámara de doble circuito.

Para ver su funcionamiento seguiremos las flechas llenas en hilos rojos para el sentido a derechas; pulsemos el M_1 y la corriente pasa por M_2, contactos superiores cerrados, contacto auxiliar c_2 y bobina **1**; la realimentación se obtiene por el circuito de flechas sin llenar; después de pasar por **P** lo hace por el de permanencia (**a**), que se cerró previamente; luego por c_2 y bobina **1**. Para parar sólo se conseguirá pulsando **P**, salvo, claro está, que por sobreintensidad haya disparado el relé **Rt**. Pongámoslo en marcha a izquierdas y sigamos las flechas llenas, pero en hilos en negro: pulsamos en M_2, y la corriente pasa por M_1, contactos inferiores cerrados, contacto auxiliar c_1 y bobina **2**; la realimentación se obtiene por el circuito de flechas sin llenar, en que después de pasar por **P**, lo hace por el de permanencia (**b**), que se cerró previamente; luego por c_1 y bobina **2**. Son dos circuitos idénticos para las dos puestas en marcha.

Si se pulsara en las dos puestas en marcha a la vez, siempre uno de los dos conectará antes que el otro, aunque fuera por milésimas de segundo, un circuito excitaría una bobina y el otro quedaría abierto.

ESQUEMA DE MANDO DE INVERSION



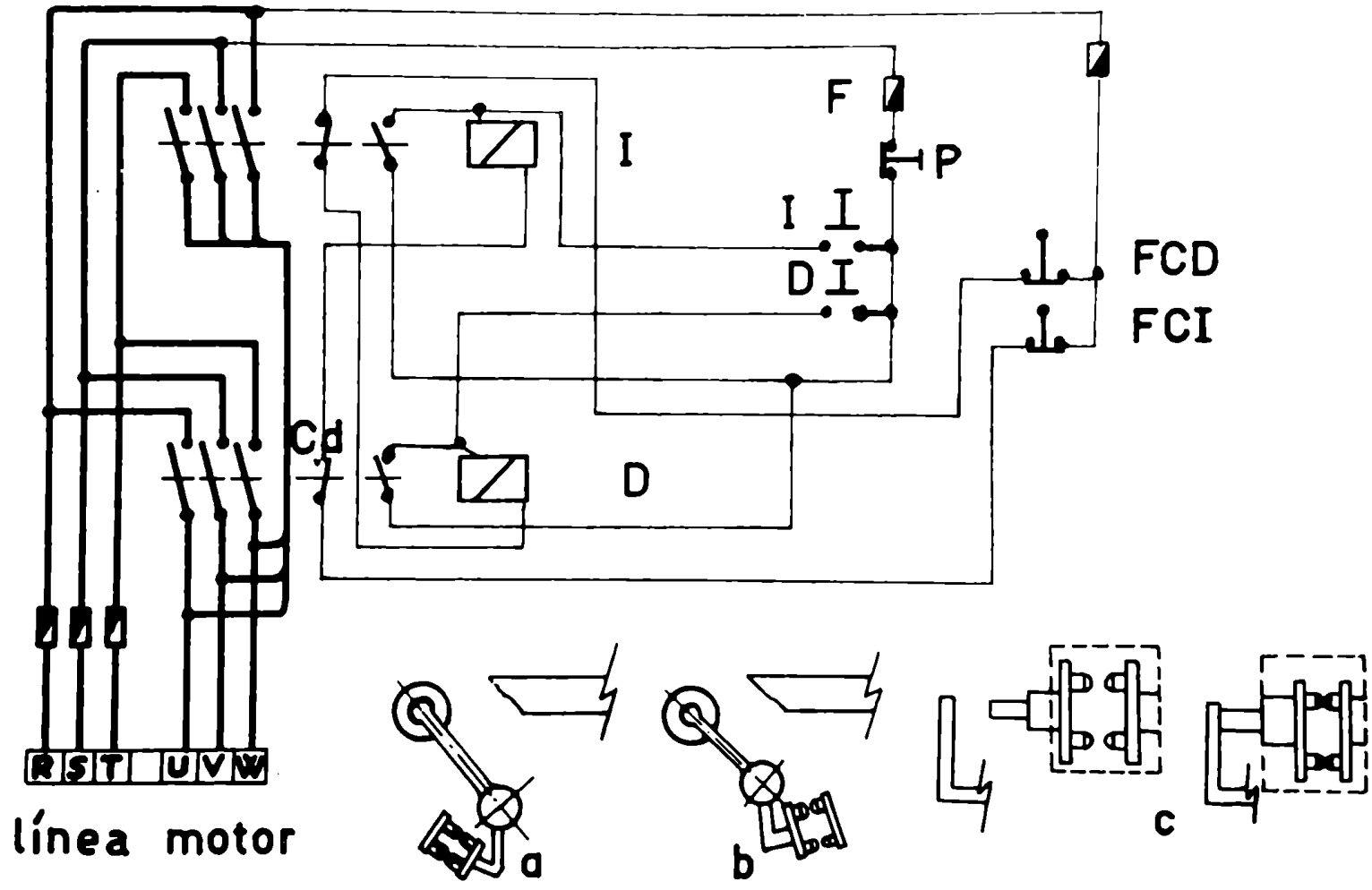
INVERSOR CON FINALES DE CARRERA

En primer lugar diremos qué es un final de carrera, puesto que en los circuitos anteriores hemos hablado de pulsadores y contactos auxiliares; pero hay otros aparatos que pueden abrir o cerrar los circuitos de mando, y entre ellos pueden ser termostatos, presostatos, boyas y finales de carrera. Estos son accionados por elementos mecánicos en movimiento como vamos a ver en otros circuitos de esta obra muy útiles en la industria.

Los finales de carrera pueden ser de un circuito, dos o varios; a la vez pueden ser tanto abiertos como cerrados, o en una sola pieza haber abiertos y cerrados; son elementos de mando accionados por palancas, máquinas con topes regulados, etc., y que abran o cierren circuitos de mando, inviertan sentido de giro, pongan en marcha nuevos motores o los paren, como en máquinas herramientas. Pueden llevar o no una ruleta, pues ésta adopta posiciones infinitas según necesidades de aplicación, en todos los sentidos, sobre la cual desliza una pieza empujándole (ver detalles en el esquema). Los finales de carrera **FC** se instalan en serie en cada uno de sus circuitos; por ejemplo, tratándose del inversor de este ejercicio, los finales de carrera, cuando mecánicamente sean accionados, abrirán el circuito de mando parando el motor. Pongamos en marcha el motor, por ejemplo a izquierdas: los finales de carrera permanecen cerrados hasta que sean desplazados por un elemento mecánico; pulsamos la puesta en marcha **I**, y la corriente aparece por la fase **S**, fusible **F**, pasa por **I**, bobina **I**, contacto auxiliar **cd**, final de carrera **FCI**, cerrándose por la fase **R**; cuando al final de carrera **FCI** sea empujado como indica el detalle del esquema (**a**), se abrirá, y el contactor se queda sin alimentar parando el motor. Puede, si es necesario, pararse también con el pulsador de paro **P**; lo mismo sucederá para el cambio de sentido a derechas.

En el mercado encontramos formas muy diversas de finales de carrera para cubrir todas exigencias de funcionamiento para colocaciones diversas en horizontal, vertical, etc., con desplazamiento brusco, lento, solapado, adelantado y retardado un circuito respecto al otro.

INVERSOR CON FINALES DE CARRERA



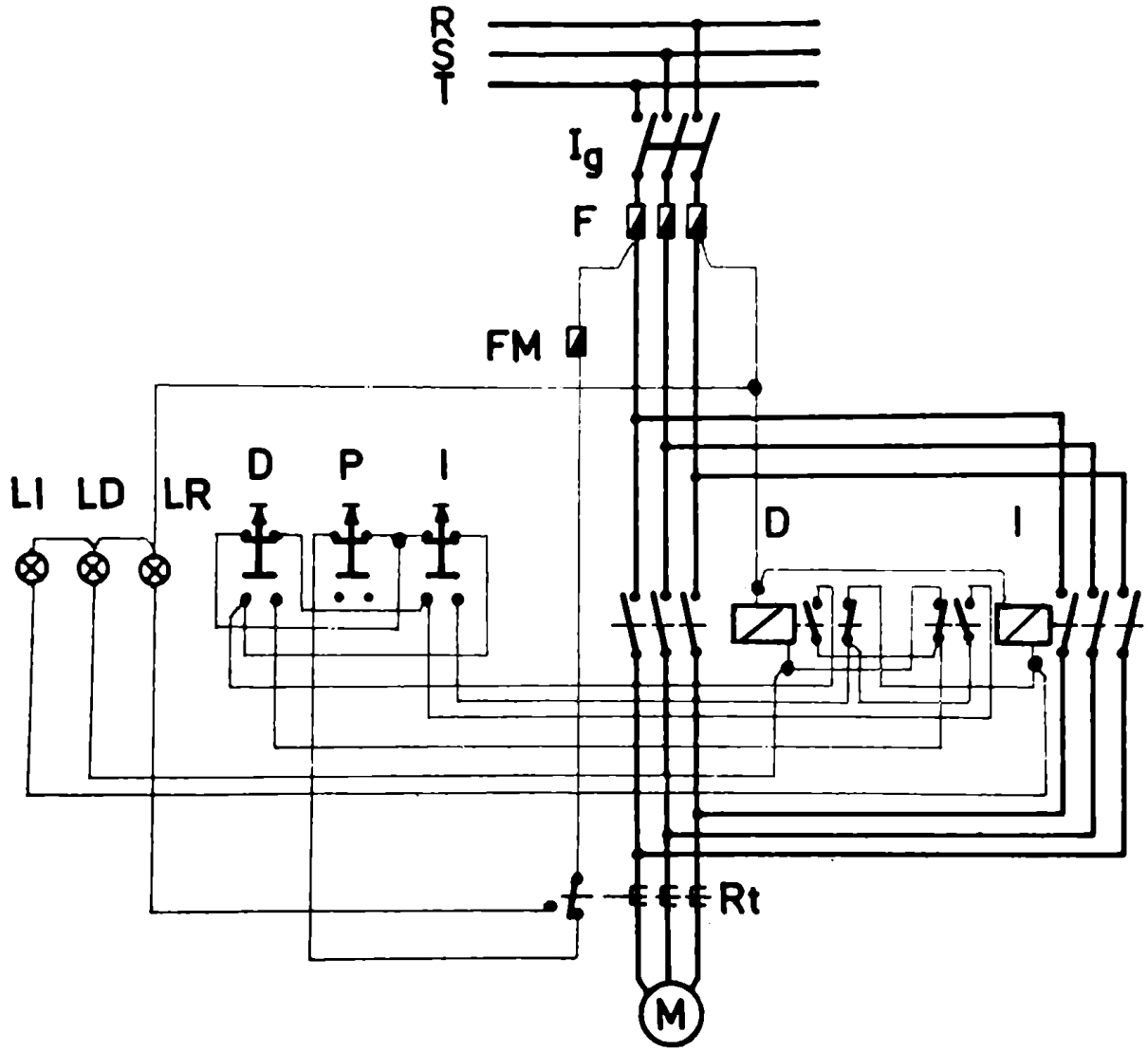
INVERSOR ICTAR (DWLSM)

De la firma Starkstrom, entre sus muchos productos fabricados, se encuentran algunos de los aparatos eléctricos que figuran en el esquema que nos facilita: pulsadores de paro y marcha con dos circuitos conmutados, relé térmico de protección y contactores de inversión ICTAR como referencia antigua, equivalente a la actual DWLSM, tanto la inicial **R** como la **M** indican contactor con guardamotor, o relé térmico.

Observamos que hay tres pilotos, ambos de señalización, que complementan el circuito; el **LR** corresponde a la señal obtenida cuando el relé térmico de sobreintensidad ha disparado; al hacerlo abre el circuito de excitación de la bobina que corresponde al contactor en trabajo, parando el motor, y cierra otro circuito que alimenta el piloto **LR**, dando la alarma; el piloto **LD** indica que el motor funciona en el sentido correspondiente a **D**, es decir, a derechas, y el piloto **LI** indica que el motor gira en el sentido **I**, a izquierdas; en ambos casos los pilotos están montados en derivación con sus bobinas correspondientes, luciendo, dando la señal, cuando éstas están excitadas y en trabajo. Para diferenciarse a distancia y saber en todo momento el sentido de giro o si disparó el relé, se pintan de diferente color.

Vamos a recorrer un sentido de giro del motor en el circuito de mando. Pongamos el motor a girar a derechas, pulsemos el pulsador **D**, y la corriente llegará en principio por fase **T** (interruptor general que previamente se conectó), fusibles, fusible de mando **FM**, relé **Rt**, pulsador de paro **P**, pulsador a izquierdas **I** por su parte superior, llegando al que pulsamos **D** por sus contactos inferiores al ser cerrados; sigue al contacto auxiliar del contactor **I**, saliendo hacia la bobina **D** y fase **R**; en este momento el piloto **LD** luce el mantenimiento, lo hace por el hilo al llegar al pulsador **D** y, sin pasar, se dirige al contacto de permanencia de **D**, pasando también por el auxiliar del **I** a buscar bobina. Para pararse se pulsa el **P**, como siempre.

INVERSOR ICTAR (DWLSM)



ESQUEMA DE MANDO DE INVERSION ICTAR

En el esquema anterior correspondiente al inversor ICTAR de la marca Starkstrom se representa todo el circuito completo compuesto de la parte principal de trabajo y de la de mando en un conjunto único, tal como estaría montado en un armario de mando con todas sus conexiones; sin embargo, es de suma importancia poseer el circuito de mando funcional, que simplifica la interpretación de los circuitos parciales, como se va a ver.
El esquema, tal como se encuentra en el ejercicio corresponde al reposo, quiere decirse en situación de paro, subdividido en cinco circuitos:

1. Consta del contacto **I**, cerrado del pulsador de izquierdas **I**, pulsador **D** puesta en marcha a derecha. Contacto $\mathbf{I}_c$ de enclavamiento de la bobina **D**.

2. Contactos **D** de permanencia de la bobina **D**, en derivación con el pulsador **D**.
   Lámpara **LD** de señalización de marcha a derechas.

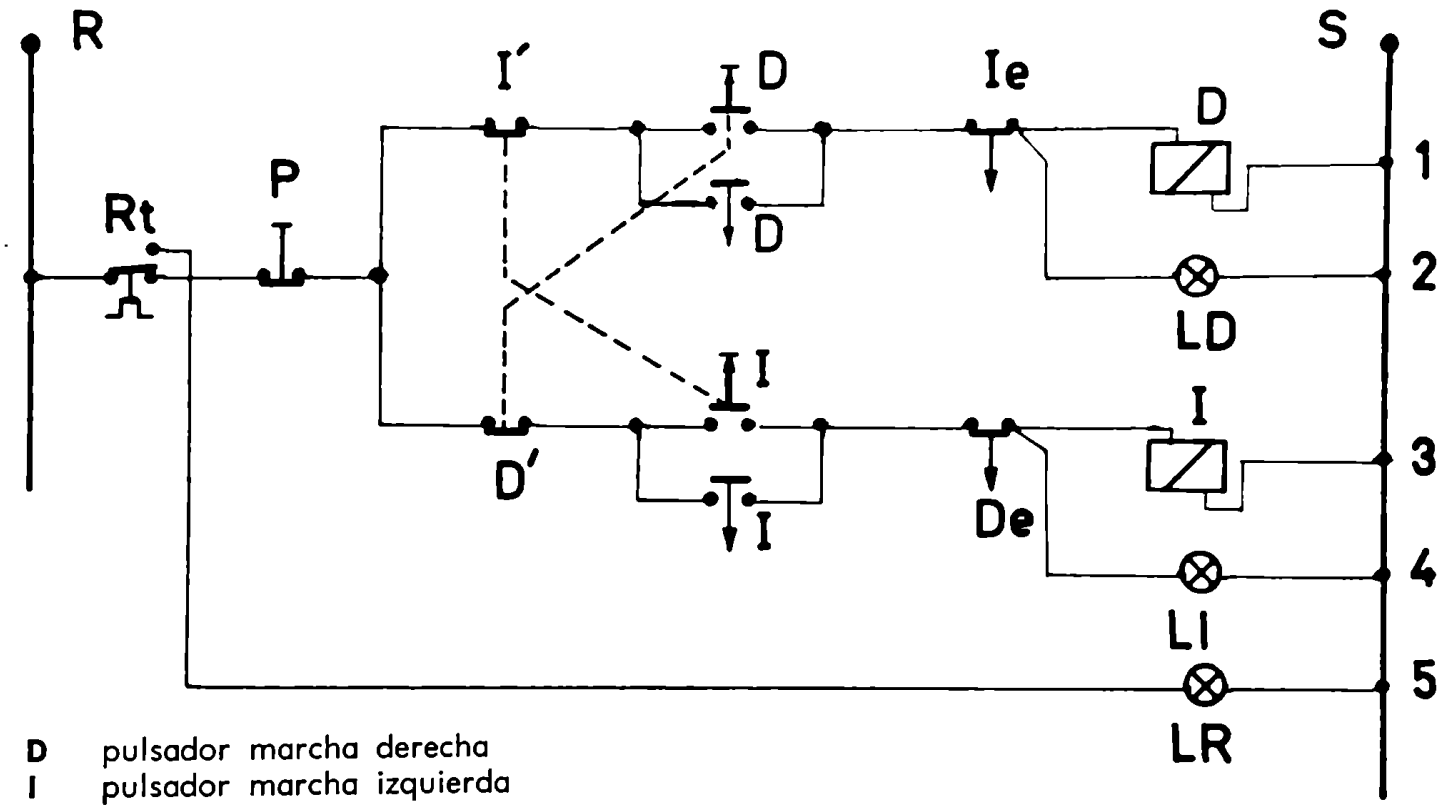
3. Contacto **D'** cerrado del pulsador a derechas **D**; pulsador **I** puesta en marcha a izquierda; contacto $\mathbf{D}_c$ de enclavamiento de la bobina **I**.

4. Contacto **I** de permanencia de la bobina **I**, en derivación con el pulsador **I**.
   Lámpara **LI** de señalización de marçha a izquierdas.

5. Lámpara **LR** de señalización del disparo del relé de sobreintensidad.

Debe hacerse constar que las líneas de puntos indican corresponden al eje del pulsador que actúa a la vez los contactos que une, es decir **D** y **D** es el de derechas y **I** y **I** el de izquierdas.
Se describe a continuación la puesta en marcha a derechas; se pulsa en **D**, afluye la corriente de fase **R** a relé **Rt**, pulsador de paro **P**, contacto cerrado **I'** del pulsador de izquierda, pulsador **D** que hemos accionado, contacto cerrado $\mathbf{I}_c$ del contactor contrario, bobina **D** y en derivación con ésta el piloto señal de marcha, y a su vez el contacto.
$\mathbf{D}_c$, de enclavamiento de la bobina **I**, se abrió y permanece abierto; el **D** también se abrió y volvió a cerrar en el momento de pulsar en **D** y dejar de hacerlo; el contacto **D** en derivación con el que hemos pulsado se cerró para dar la permanencia de excitación de la bobina. Para parar se pulsa en **P**.

ESQUEMA DE MANDO DE INVERSION ICTAR



D pulsador marcha derecha
I pulsador marcha izquierda
P pulsador paro
R relé térmico
LD lámpara señalización derecha
LI lámpara señalización izquierda
LR lámpara señalización desc. sobrecarga

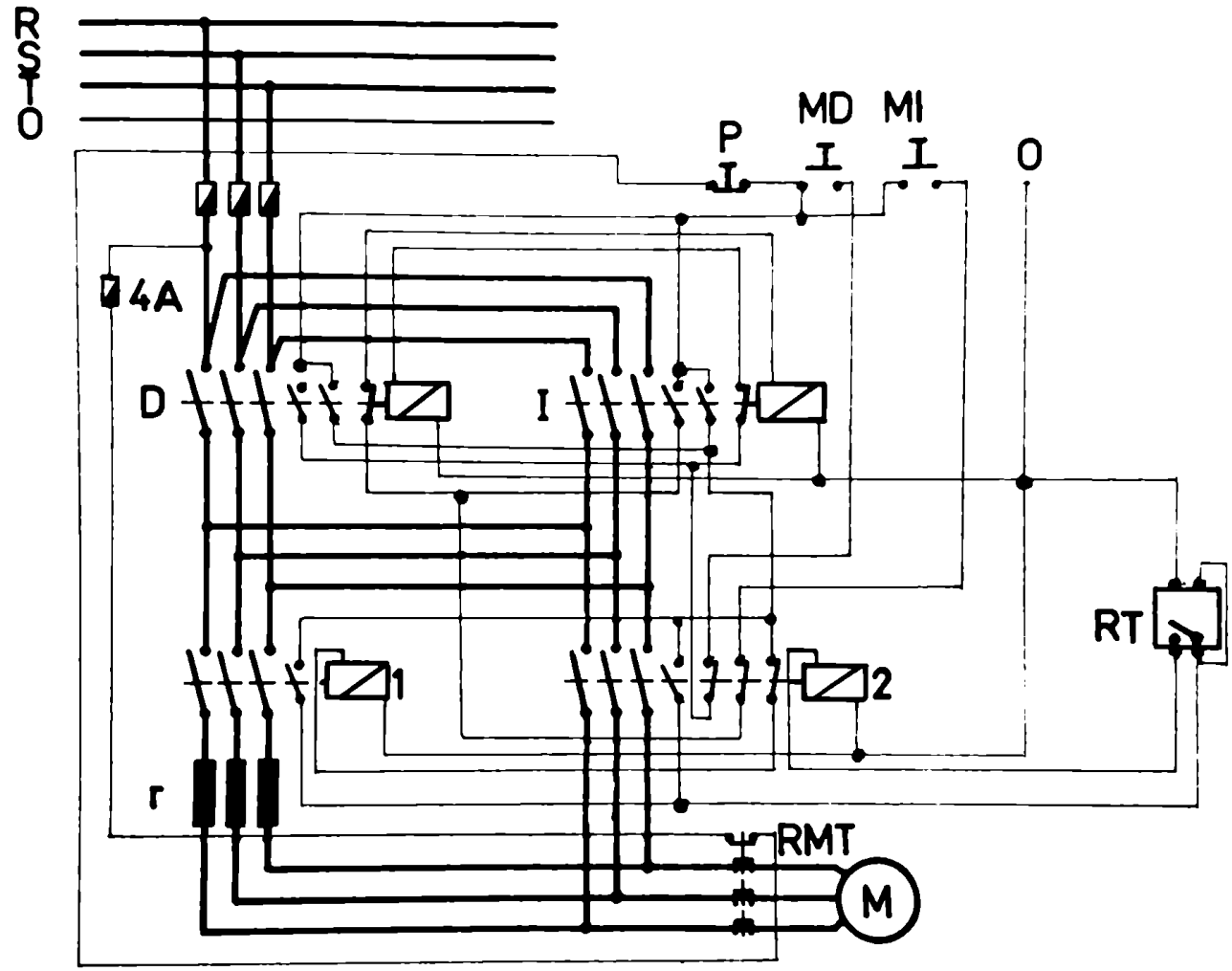
ARRANCADOR INVERSOR A RESISTENCIA ESTATORICA

Según la potencia de los motores no pueden arrancarse directamente, pues el arranque es muy fuerte y la corriente I_a se hace 2, 3, 4, 5 y 6 veces superior a la normal del motor, peligrando el motor; la conducción eléctrica, al ser sometida a una carga específica enorme, produce gran caída de tensión y repercute en el suministro del resto de abonados; otros motores, aunque su potencia no sea preceptiva en el arranque limitado, también debe arrancarse como en los anteriores empleando procedimientos de reducción de la intensidad de arranque, entre los que están, como veremos más detalladamente, el estrella-triángulo; arranque por resistencias en el rotor, con cuchillas, éste para motores de rotor bobinado y otros procedimientos, como empleando autotransformadores y resistencias estatóricas, conectadas en el estador como indica el presente esquema empleado por la firma Agut.

Este ejercicio consta de la instalación para el arranque e inversión de un motor con una potencia que es preceptivo limitar la corriente de arranque. Lo componen en primer lugar dos contactores, **D** e **I**, que forman el conjunto para la inversión. Un contactor **1** de conexión de las resistencias al circuito del motor y otro contactor que, transcurrido el período de arranque temporizado, pone las resistencias en derivación, quedando eliminadas y el motor sometido a su máxima tensión, la que le corresponde, el relé, magnetotérmico **RMT**, los pulsadores de inversión y paro y el relé temporizador **RT** para la conexión del contactor **2** y eliminar las resistencias de limitación de corriente.

Al pulsar cualquiera de los botones **MD** o **MI** entrará el contactor que corresponda, y por un contacto auxiliar del mismo afluye la corriente pasando por otro contacto auxiliar del contactor **2** y alimenta la bobina **1**, que conecta las resistencias estatóricas **r** y el motor de arranque con par reducido; al entrar el contacto **1** el contacto auxiliar que posee nos alimenta el relé temporizador **RT** y temporiza un tiempo prefijado que, transcurrido, cerrará un contacto, dando la alimentación a la bobina **2**, cerrando el circuito que elimina las resistencias y dejándolas sin efecto.

ARRANCADOR INVERSOR A RESISTENCIA ESTATORICA



CAPITULO III

Capítulo dedicado al arranque de motores asincrónicos trifásicos con 23 esquemas, en los que se encuentran los distintos procedimientos para arranque de motores de todas potencias y con rotor en jaula de ardilla, así como motores con rotor bobinado y anillos de conmutación.

Entre los sistemas más destacados se encuentran, según relación que sigue, el reóstato de arranque para rotor bobinado; el interruptor rotativo estrella-triángulo; el conjunto de arrancador estrella-triángulo mediante contactores, arranque por eliminación de resistencias rotáricas y estatóricas accionadas automáticamente mediante temporizadores; por resistencias mediante relés de tensión variable, y arranque usando autotransformadores.

Esquema núm. 39. — Arranque con reóstato.
Esquema núm. 40. — Arranque con reóstato y final de carrera.
Esquema núm. 41. — Arranque de motor asincrónico con reóstato.
Esquema núm. 42. — Arranque estrella-triángulo con palanca.
Esquema núm. 43. — Interruptor rotativo estrella-triángulo.
Esquema núm. 44. — Conmutador rotativo estrella-triángulo.
Esquema núm. 45. — Arrancador estrella-triángulo.
Esquema núm. 46. — Esquema de mando estrella-triángulo.
Esquema núm. 47. — Conmutador estrella-triángulo.
Esquema núm. 48. — Esquema de mando estrella-triángulo.
Esquema núm. 49. — Arrancador inversor estrella-triángulo.
Esquema núm. 50. — Arranque por eliminación de resistencias.
Esquema núm. 51. — Arranque de un motor asincrónico.
Esquema núm. 52. — Arranque por eliminación de resistencias.
Esquema núm. 53. — Arranque con temporizador.
Esquema núm. 54. — Arranque automático temporizado.
Esquema núm. 55. — Arranque por resistencias escalonadas.
Esquema núm. 56. — Arrancador de resistencias a relés de tensión variable.
Esquema núm. 57. — Arranque por varios procedimientos.
Esquema núm. 58. — Arranque automático rotórico.
Esquema núm. 59. — Arranque de un motor por autotransformador.
Esquema núm. 60. — Arrancador inversor motor por autotransformador.
Esquema núm. 61. — Circuito de mando arrancador inversor por autotransformador.

Los motores asincrónicos trifásicos de inducción constan de dos partes fundamentales: el inductor y el inducido o rotor. A su vez estos motores se dividen en dos grupos, a saber:

a) Motores que tienen el rotor en corcocircuito, llamados en jaula de ardilla.

b) Motores con el rotor bobinado.

Estos últimos, con rotor bobinado, pueden ser de devanados en conexión interna en estrella o bien abiertos al exterior a través de los anillos de conmutación para su arranque mediante los procedimientos que se van a exponer.

El inductor de estos motores es alimentado de línea y producen campo magnético giratorio como resultante de los campos correspondientes a las corrientes polifásicas de alimentación. Este campo magnético giratorio, girando en el circuito magnético de chapa del estator, tiene una velocidad que depende de la frecuencia de la red y de los pares de polos de sus devanados, siendo ésta $n_s = \frac{60\,f}{p}$

El inducido, se ha dicho, puede ser en jaula de ardilla, formado con barras conductoras en circuito cerrado o bien por un rotor bobinado formando tres fases conectadas sus extremos en estrella y sus terminales igualmente. Como consecuencia del campo giratorio del estator, al atravesar el rotor se crean corrientes inducidas que son arrastradas por el campo giratorio, y el rotor se pone en movimiento.

Si el motor es conectado directamente a la red, tanto si tiene el rotor en jaula de ardilla como bobinado, si están cerrados sus devanados rotóricos arrancará; pero según potencias del motor la corriente absorbida de línea podrá oscilar entre 2, 3, 4, 6 y 7 veces la nominal del motor. Esta corriente es muy peligrosa en motores de potencias grandes y, en general, superiores a 5 CV. Por ello los motores asincrónicos trifásicos de inducción menores de dicha potencia tienen el rotor en jaula de ardilla, que arrancan directamente, y si la potencia es superior, siendo el rotor igualmente en jaula de ardilla, necesitan para su arranque, como veremos, limitar la corriente de línea o la tensión, empleando arrancadores estrella-triángulo, que limitan la tensión o resistencias estatóricas, así como también autotransformadores de arranque.

Para aquellos motores con rotor bobinado para grandes potencias y devanados abiertos, es decir, sus terminales, salen conectados a unos anillos, mientras que los principios se unen en el interior en estrella; sobre los anillos frotan unas escobillas sacando las corrientes inducidas a unas resistencias variables para su puesta en marcha. Estos motores arrancan sin ninguna otra limitación en el estator; solamente se limita la corriente inducida en su arranque con la resistencia variable o de arranque, que puede ser un reóstato manual giratorio o resistencias escalonadas rotóricas, las cuales se van eliminando en puntos mediante contactores temporizados, según esquemas del capítulo

En el momento de poner en marcha el motor, la intensidad de arranque es superior a la normal, como se ha

dicho; el devanado es sometido a una corriente excesiva, resultando una densidad muy fuerte que determina una caída de tensión, un calentamiento que hace que el motor peligre y pueda quemarse. Sobre la red esta caída de tensión perjudica a los restantes receptores conectados a la misma línea, por ello está reglamentado, y las compañías distribuidoras exigen, la limitación de la corriente de arranque en los motores, según la siguiente escala:

Motores de 0'75 a 1'5 Kw, será 4'5 veces la normal.
Motores de 1'5 a 5 Kw, será 3 veces la normal.
Motores de 5 a 15 Kw, será 2 veces la normal.
Motores de más de 15 Kw, será 1'5 veces la normal.

Teniendo en cuenta estas limitaciones en la corriente de arranque de cualquier motor podemos encontrar los sistemas que nos limitan dicha corriente. Para ello se pueden seguir dos procedimientos: uno, limitar el flujo inductor en el estator, lo que es igual a limitar la corriente o la tensión de alimentación, y otro, aumentar la resistencia en el devanado inducido, lo que limita la corriente inducida. Sobre estos dos sistemas se van a desarrollar los distintos arranques de motores, como vamos a ver.

En el siguiente cuadro se resumen los distintos procedimientos, basados en los dos sistemas de limitación de la corriente de arranque.

LIMITACION DE LA CORRIENTE DE ARRANQUE

En el inductor o estator

a) Estrella-triángulo manual, con palanca.
b) Estrella-triángulo manual, rotativo.
c) Estrella-triángulo automático, por contactores temporizados.
d) Resistencias escalonadas estatóricas, por contactores temporizados.
e) Con autransformadores por contactores temporizados.

Eliminación de resistencias o relés de tensión variable.

En el inducido o rotor

a) Reóstato giratorio, con levantaescobillas.
b) Reóstato giratorio, sin levantaescobillas.
c) Reóstato líquido, con levantaescobillas.
d) Reóstato líquido, sin levantaescobillas.
e) Resistencias rotóricas escalonadas por contactores temporizados.
f) Resistencias de arranque centrífugo.

Arrancadores con limitación en el estator:

El arrancador estrella-triángulo manual, mediante palanca **I-a**, viene explicado en el esquema número 42. Consta simplemente de un conmutador de dos posiciones; la primera conecta el motor a línea en estrella posición λ a la tensión reducida, ya que este motor va a funcionar en triángulo, y si la red es de 380 V el motor debe ser de 220/380 V, funcionando a 380 V en triángulo; en estrella necesitaría 660 V; por ello, a dicha posición es conectado a tensión reducida en la segunda posición de triángulo que se pasa manualmente y queda a su debida tensión de 380 V; durante el intervalo de ambas posiciones ha transcurrido un tiempo, el necesario para embalarse y adquirir una velocidad normal. El arrancador estrella-triángulo rotativo **I-b** manual se diferencia sobre el anterior en que es más técnico; protegido y

reducido el comportamiento es el mismo, pero ambos son desplazados por el arrancador **I-C** estrella-triángulo automático por contactores temporizados con mando a distancia, puestos en marcha al pulsar un botón. (Esquema número 45 y siguientes; su explicación y funcionamiento se ve en los mismos ejercicios).

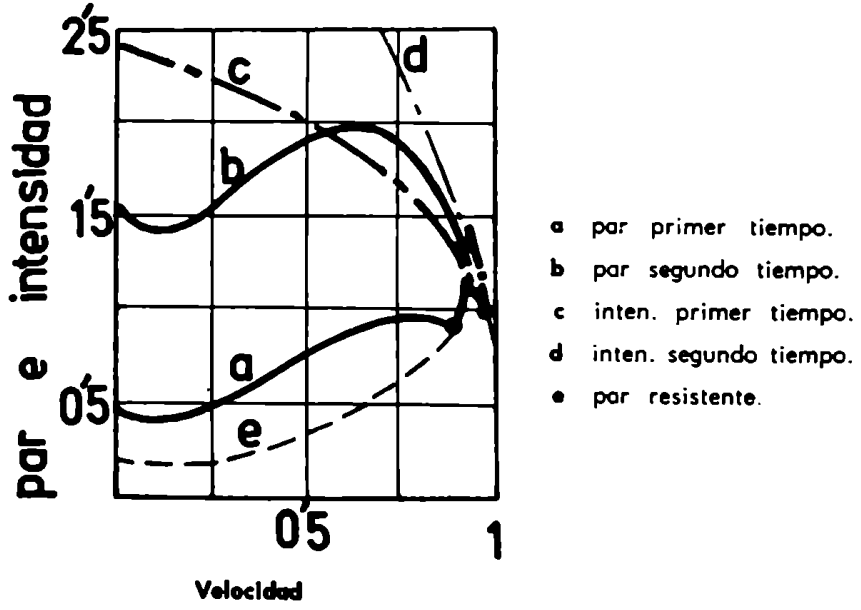
Los tres arrancadores citados obran sobre la corriente de alimentación al conectar la tensión de red sobre la estrella del motor, quedando reducida a una tercera parte de la que tomaría en arranque directo; en efecto, la corriente normal en funcionamiento **In** al pasar al arranque en estrella se relaciona igual que las tensiones; pero en sentido inverso la tensión se multiplica por $\sqrt{3}$ y la corriente se divide, quedando $\mathbf{In}/\sqrt{3}$. Ahora bien, como la estrella se ha conectado a la tensión del triángulo en vez de hacerlo a la suya, queda reducida la tensión en $\sqrt{3}$ y, por lo tanto, la corriente en la misma proporción, luego la intensidad queda reducida a

$$\frac{In}{\sqrt{3} \times \sqrt{3}} = \frac{In}{3}.$$

En resumen, si la corriente de arranque de un motor de 11 Kw, o sea, 15 CV es de $Ia = 6$ In en directo, en estrella-triángulo quedará $Ia = \frac{6\ In}{3} = 2$ In, quedando dentro de los límites establecidos por el Reglamento.

El sistema de arranque **I-d** empleando resistencias escalonadas estatóricas mediante contactores temporizados lo tenemos estudiado en el número 50; consiste en intercalar unas resistencias en la red de alimentación y el motor, las que reducen la tensión durante el período de arranque hasta que el motor se acelera y consigue la velocidad normal; la eliminación de dichas resistencias no debe realizarse hasta que el motor no haya llegado del 75 al 80 por 100 de su velocidad; al quedar eliminadas las resistencias éstas siguen cortocircuitadas y el motor recibe toda la tensión de red, la reducción de la tensión y corriente son proporcionales mientras que el par de arranque disminuye en proporción al cuadrado de la tensión; por ello, el par de arranque se hace muy bajo en un principio; si la tensión y corriente se reducen en el 50 por 100 el par de arranque disminuye a un 25 por 100.

Las curvas características del par de arranque y corriente las vemos en el siguiente gráfico, en fución del tanto por ciento de la velocidad: para una tensión reducida



mediante resistencias estatóricas con dos puntos de eliminación, a medida que la velocidad aumenta, el par inicial, que es bajo, va subiendo durante el tiempo que está en circuito toda resistencia (primer punto de conexión); en cambio la corriente desciende con mayor rapidez. Transcurrido el tiempo queda eliminado el primer grupo de resistencias, pasando la conexión al segundo punto, instante en que par y corriente se refuerzan para descender a su valor nominal, punto de coordenadas (**1,1**), correspondientes en ordenadas al tanto por uno o 100 por 100 en par y corriente; la abcisa es igualmente el tanto por uno o el 100 por 100 aproximadamente de la velocidad normal o de sincronismo. La tensión en los puntos dio dos saltos aumentando de valor hasta quedar el motor a tensión de red.

El arranque **I-e**, empleado en el estator autotransformadores temporizados, los reseñamos en las páginas números 51, 59 y 60, con dos y tres puntos de arranque. En este sistema, aplicado a motores con rotor en cortocircuito con varias tomas en los devanados individuales, una vez que el motor se pone en marcha y va acelerando los contactores, van pasando automáticamente de una a otra toma eliminando partes de bobinado y aumentando la tensión en el motor hasta quedar en todas ellas; las conexiones son en estrella, que reducen la tensión en las tomas más que empleando el triángulo. El aranque con autotransformador da unos puntos más suaves y un par de arranque mayor.

Arrancadores con limitación en el rotor:

Pasamos al segundo sistema de arranque, éste en motores de bobinado y abiertos, con las tres fases unidas a tres anillos giratorios sobre los que frotan unas escobillas y sacan las corrientes inducidas al exterior para ser cortocircuitadas a través de unas resistencias de arranque, y una vez efectuado éste y con las tres fases en cortocircuito franco se pueden dejar las escobillas que sigan frotando o bien con un dispositivo mecánico de una palanca realizar el cortocircuito en estrella en su interior sobre un anillo, con lo que las escobillas son levantadas evitando su roce y desgaste.

El primer caso de ellos es el **II-a**, arranque con reóstato giratorio con levanta-escobillas (esquemas números 41, en donde se aprecia todo su mecanismo y su correspondiente descripción); la palanca **p** cortacircuita los extremos de la estrella del rotor sobre un anillo una vez que el reóstato de arranque eliminó y puso fuera de servicio las resistencias.

En el **II-b** se trata del mismo sistema de arranque con reostato giratorio manual; pero sin levanta-escobillas (esquemas números 39 y 40), éstos siguen frotando sobre sus anillos y el punto de estrella lo hace sobre el último punto del reóstato; este reóstato debe llevarse a su punto de puesta en marcha cuando se para el motor, de lo contrario el arranque no podrá efectuarse por quedar el mando enclavado en un contacto de seguridad o final de carrera.

Otro tipo de arranque es el **II-c**, que siendo igual a los anteriores en todo, se diferencia en la resistencia. En aquéllos consta de una resistencia en forma de bobinado de hilo resistente de nicron u otro material de resistividad alta; pero en éste son unas cuchillas que se van introduciendo en agua con cloruro sódico para hacerla conductora, se llama reóstato líquido; este procedimiento, que un día tuvo mucha importancia, ha que-

dado superado por otros que veremos seguidamente; no obstante, en ciertos casos se suele emplear porque tiene una regulación muy continua, sin puntos de corriente, de fácil mantenimiento y reparación. Puede disponerse con y sin levanta-escobillas.

El **II-e**, según el cuadro sipnótico anterior, se basa en la eliminación de resistencias rotóricas escalonadas mediante contactores temporizados (esquemas números 52 y 55 para tres puntos, 53 para uno y 54 para dos). En ambos esquemas se ven los grupos de resistencias derivados con un contactor. Cuando se inicia el arranque los contactores están abiertos y, una vez conectado el motor a línea, los relés de mando de dichos contactores se alimentan quedando bajo tensión y empiezan a temporizar conectando cada uno de ellos sus respectivos contactores en tiempos diferentes, calculados según porcentaje de velocidad que el motor va adquiriendo. Cada vez que un contactor entra realiza un cortocircuito de las fases en estrella eliminando un grupo de resistencias hasta quedar en cortocircuito franco.

Cuando se pare el motor las bobinas de los contactores quedan sin alimentación por abrirse un contacto auxiliar y los contactores abren las estrellas; si lleva levanta-escobillas pueden abrir después del arranque montando un final de carrera en la palanca que los bloquee; no está puesto en el esquema.

Otro procedimiento es el **II-f**, arranque de un motor con resistencias montadas en un centrífugo, éste lleva unas bolas que, merced a las fuerzas centrífugas adquiridas en función de la velocidad del motor, cortocircuitan las resistencias giratorias en un bloque montado en el eje. Por último tenemos el arranque de un motor por resistencias rotóricas escalonadas mediante relés de tensión variable, según indica el esquema correspodinte al catálogo-tarifa Agut-65 en su página 86 (esquema de este capítulo número 56); se basa este procedimiento en la diferencia de tensiones entre estator y rotor, y el funcionamiento es como sigue:

Al rotor y estator se conexionan dos transformadores monofásicos de tensión; el transformador conectado al estator tiene dos entradas, a 220 V y a 380 V; éste alimenta dos rectificadores **R1** y **R2** montados en circuito puente monofásico; al conectar al rotor alimenta su secundario al rectificador **R3**; los dos primeros unidos se oponen al segundo y, a rotor parado, la resultante de los tres es una tensión nula en corriente continua; pero en el momento de poner el motor en marcha, la tensión del estator es la de línea y constante, y la del rotor es máxima; ésta va disminuyendo a medida que el rotor se va embalando, anulándose cuando alcanzó su velocidad de régimen; esta variación de la tensión en el rotor obliga a variar la del secundario del transformador **Tr2** y, por lo tanto, la tensión transformada en el rectificador puente **R3**, de tal forma que la composición geométrica de los tres rectificadores, partiendo de cero, va aumentando progresivamente hasta hacerse máxima. Esta variación de tensión en función de la rotórica es aprovechada para que a distintos valores vayan conectándose los relés de aceleración **RTV** y entren los contactores **1-2-3** proporcionalmente a la aceleración del motor.

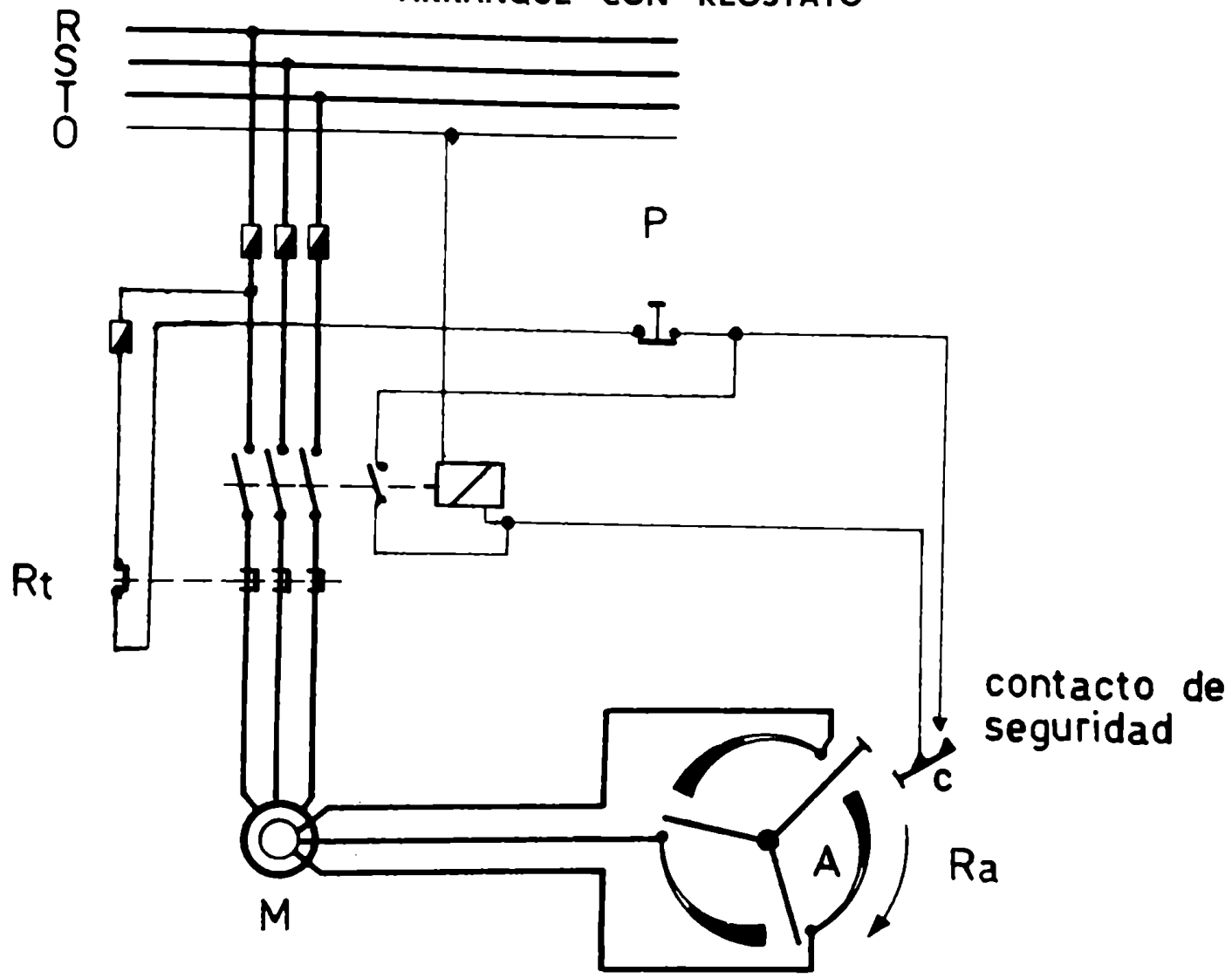
ARRANQUE CON REOSTATO

Una de las divisiones clasificatorias en que se componen los motores asincrónicos trifásicos es la correspondiente a los de rotor bobinado y anillos rozantes, que sacan al exterior las tres fases del rotor.

El inductor se construye para dos tensiones de servicio 127/220 V, 220/380 V y 380/660 V, bien que se conecte en triángulo o en estrella, respectivamente, pasando de una a otra tensión combinando los puentes en la caja bornas. El inducido se devana bien en cerrados o en cortocircuito para motores pequeños y abiertos para motores de mayor potencia, con igual número de polos, igual o diferente número de fases y distintas ranuras; los tres principios van unidos en estrella y los tres finales salen al exterior a través de tres anillos o colectores aislados, sobre los que frotan unas escobillas de toma para poder cerrar las fases por unas resistencias de regulación, las que nos facilitan la puesta en marcha como podemos apreciar en el ejercicio.

Hay que tener en cuenta que estos motores pueden dividirse en otros dos grupos, los que, una vez arrancadas las resistencias, quedan cortocircuitadas pero sin poder volverlas a su punto de partida, pues forman la estrella en su punto final, por lo que las escobillas frotan continuamente sobre los anillos. El otro grupo más práctico consta de una palanca levantaescobillas, de forma que una vez arancado el motor y a su velocidad normal, el punto de estrella se forma al levantar las escobillas y conectar los tres anillos en cortocircuito, quedando el devanado en estrella a través de ellos, pasando entonces las resistencias a su punto de partida, tal es el caso que se representa. En la posición actual de reposo giramos el reóstato hacia la derecha y la misma palanca nos conmuta el contacto de seguridad **c**, que manda la excitación de la bobina del contactor, conectando línea y sometiendo el estator a un campo magnético que atraviesa el rotor y éste empezará a girar en cuanto hagan cortocircuito las tres resistencias de arranque y se irá embalando a medida que regulemos las resistencias de arranque **Ra**, y cuando el regulador llegue a su punto final pueden levantarse las escobillas (no figuran en el esquema, las veremos en otros), a la vez que se ponen los anillos en cortocircuito, y llevar el reóstato a la posición inicial abriendo el contacto de seguridad **c**; pero la bobina queda realimentada por su contacto de permanencia. Al pulsar en **P** se para el motor.

ARRANQUE CON REOSTATO



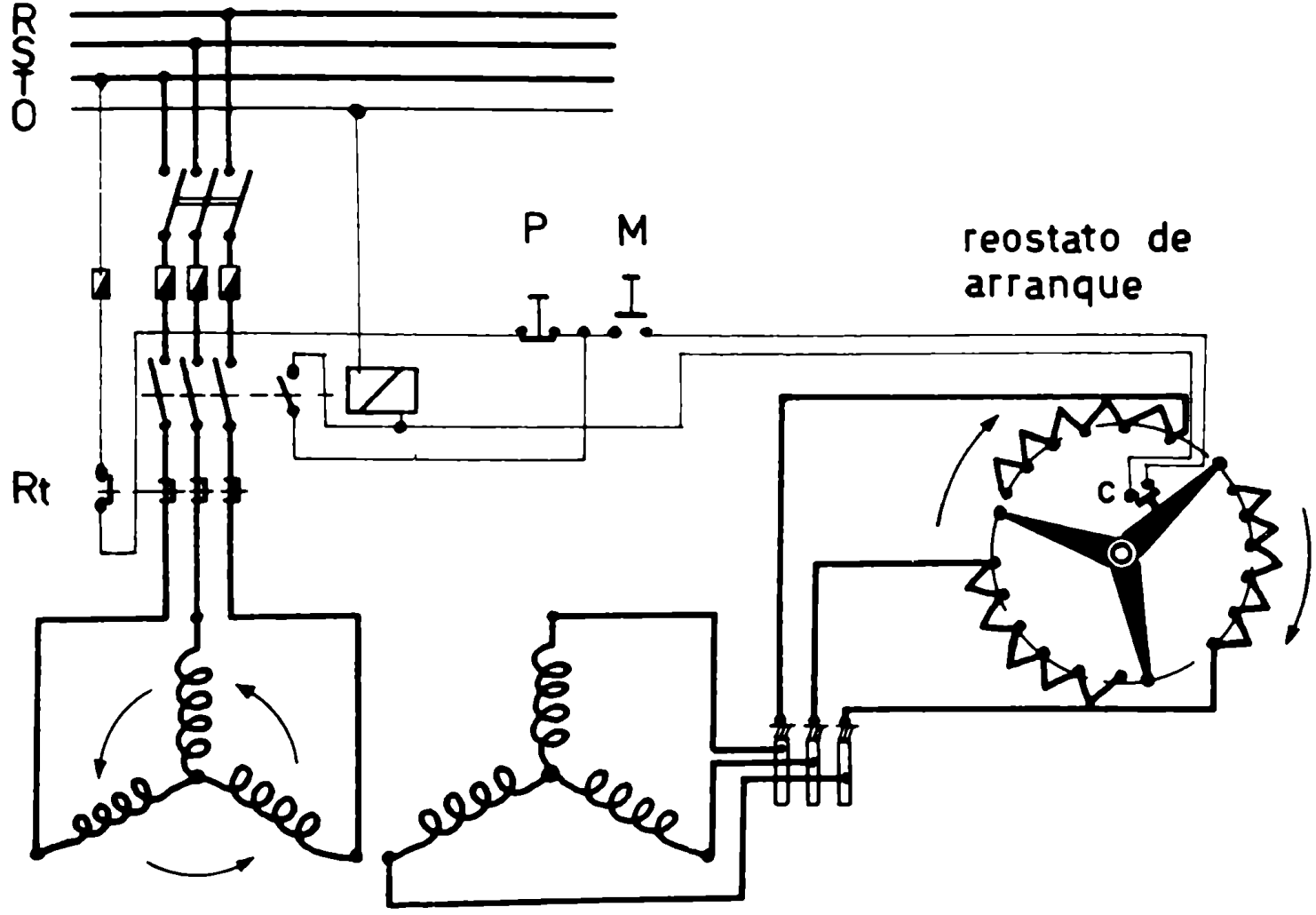
ARRANQUE CON REOSTATO Y FINAL DE CARRERA

Los sistemas de arranque empleados en los motores asincrónicos son obligados a instalar para que la intensidad absorbida por el motor al iniciar su marcha no sobrepase los límites que la línea permite y las instalaciones de maniobras y quede también entre los límites establecidos por las compañías suministradoras de acuerdo con el Reglamento de instalaciones eléctricas de baja tensión. Ahora bien; el par de arranque del motor queda reducido y debe ser lo suficiente para vencer el par resistente de la máquina accionar.

El par motor se deduce de la fórmula $P = 2\pi nC$, de donde el par es $c = \frac{P}{2\pi n}$, siendo **P** la potencia eléctrica, **n** la velocidad relativa, es decir, $n = n_1 - n_2$, siendo n_1 la velocidad del campo inductor y n_2 la velocidad del rotor que en el momento de iniciar la marcha es $n_2 = 0$, por lo que $n = n_1$ muy grande y decrece a medida que el motor se acelera; por ello el par parte de cero y va aumentando a medida que baja **n** y sube n_2, pues $n = n_1 - n_2$, n_1 es constante; como n_2 nunca se hace igual a n_1 existe una diferencia $n = n_1 - n_2$ y la relación $\frac{n}{n_1} = S$ es el deslizamiento necesario para el arrastre del rotor tras el campo rotatorio del estator.

En el ejercicio presente se representa un motor con rotor bobinado, colector de toma de fases abiertas, llevadas a un reóstato de arranque giratorio, éste lleva un final de carrera que cumple la misión de bloquear la marcha mientras que el reóstato no está en su posición de poner en funcionamiento. Al pulsar en **M**, la corriente pasa de fase **T**, por relé **Rt**, pulsador **P** y **M**, contacto del final de carrera **c** y bobina; excitada ésta conecta el contactor por lo que el estator es sometido a tres corrientes trifásicas creando un campo magnético giratorio que corta el devanado del rotor, que no se inmutará mientras esté abierto; pero en cuanto el manubrio del reóstato empiece a girar y conecte las tres resistencias uniéndolas en corto, las bobinas del rotor son arrastradas por el campo magnético inductor del estator y aquél gira, venciendo las resistencias de inercia de la máquina; el reóstato en este caso no podemos llevarlo a su posición de reposo, pues al no tener levantaescobillas y aro de cortocircuito, éstas frotan continuamente. El contacto **c**, en el arranque, se abrió, pero la bobina se realimenta por el contacto de permanencia. Cuando se desea se para al pulsar en **P**, y el nuevo arranque no podrá efectuarse sin llevar el reóstato a su punto inicial para que el final de carrera **c** quede cerrado.

ARRANQUE CON REOSTATO Y FINAL DE CARRERA



ARRANQUE DE MOTOR ASINCRONICO CON REOSTATO

Cuando la máquina ofrece un par resistente en el arranque, interesa mejorar el par motor y se consigue aumentando la resistencia en el inducido y esta limita la corriente.

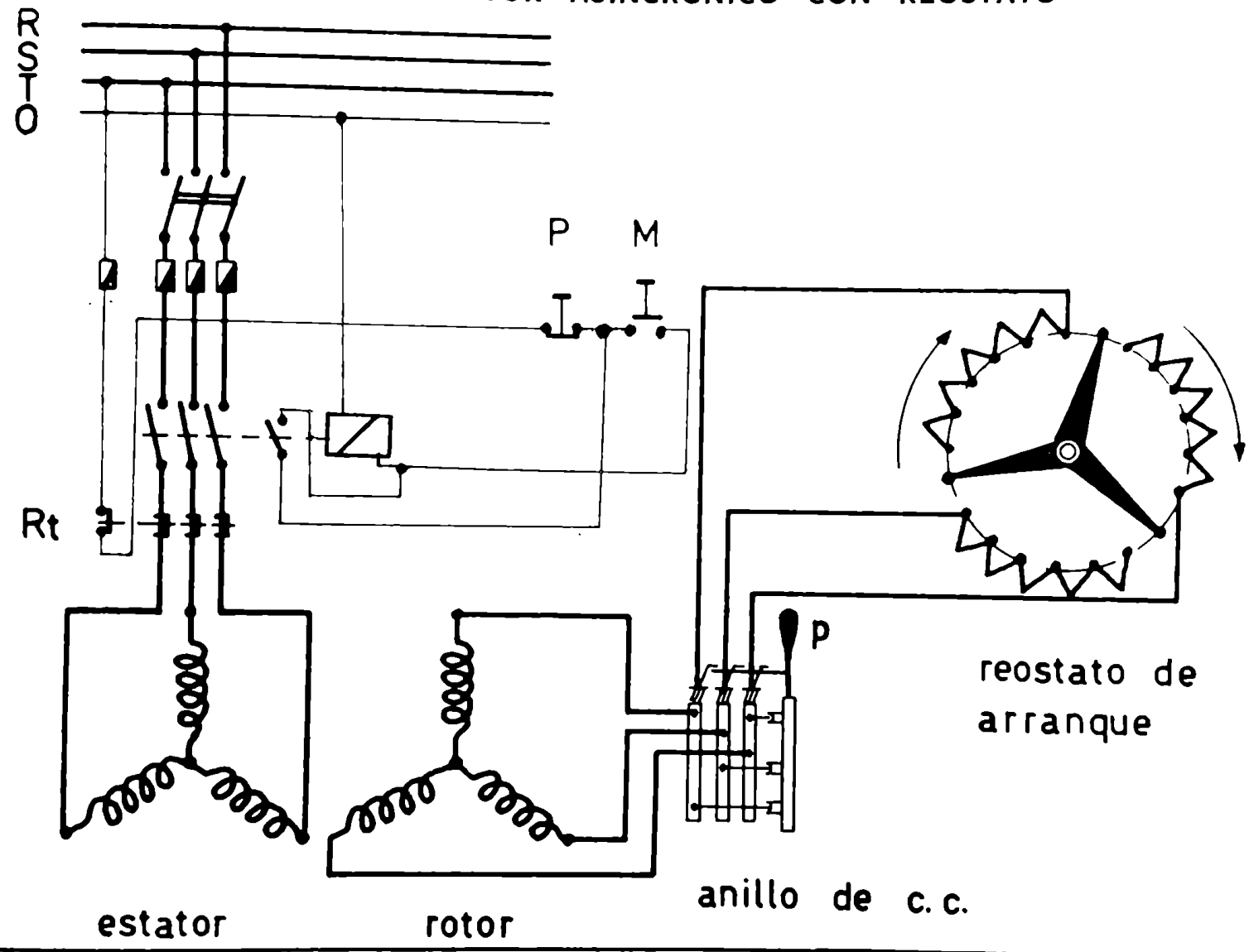
El reglamento electrotécnico de baja tensión obliga a que la relación de carga entre la corriente de arranque y la normal de un motor sea inferior a 6 veces, es decir $\mathbf{Ia} : \mathbf{In} < 6$, $\mathbf{Ia} < \mathbf{6} \cdot \mathbf{In}$; generalmente debe tenerse en cuenta la tabla siguiente:

De 0'75 a 1'5 Kw, $\mathbf{Ia} \leq 4'5\ \mathbf{In}$; de 1'5 a 5 Kw, $\mathbf{Ia} \leq 3\ \mathbf{In}$; de 5 a 15 Kw, $\mathbf{Ia} \leq 2\ \mathbf{In}$, y más de 15 Kw, $\mathbf{Ia} \leq 1'5\ \mathbf{In}$.

La corriente inducida en el rotor es $\mathbf{I} = \frac{\mathbf{E_0}}{\mathbf{r_0}} \cos \varphi = \frac{2 \pi \Phi}{\mathbf{r}} \cos \varphi$ en el momento de poner el motor en marcha $2 \pi \mathbf{f} = 2 \pi \mathbf{f_1}$, la velocidad relativa $2 \pi \mathbf{f}$ es muy grande a rotor parado, lo que hace que esta intensidad sea muy fuerte y el inducido, así como la línea, peligra por caída de tensión y aumento de temperatura. Para rebajar esta corriente de arranque, según vemos en la fórmula de la corriente, se debe disminuir el Φ flujo o aumentar la resistencia del inducido o rotor en el arranque; este último es el procedimiento empleado en el presente esquema: reducción de la corriente al arranque, insertando resistencias en el inducido, sin darle importancia a la disminución del par motor.

El esquema está representando un motor trifásico con estator conectado en estrella y rotor también en estrella, cerrando en los tres anillos, mediante la palanca levanta-escobillas, un reostato de aranque con su resistencia por fase en situación de abierto, un contactor con pulsadores de paro y marcha, un juego de fusibles y un interruptor general. Si pulsamos en **M**, la corriente de mando pasa a la bobina y se realimenta con su contacto auxiliar de permanencia; excitada la bobina el contactor comunica las tres fases al estator, donde crea un campo magnético rotatorio, el cual ejercerá la fuerza de arrastre del rotor en cuanto se maniobre el reóstato de arranque con escobillas en contacto de los anillos; el motor arrancará y se irá acelerando a medida que disminuya la resistencia del reóstato, y, cuando esté toda eliminada, el motor marchará a su velocidad normal; entonces la palanca **p** se acciona, poniendo los tres anillos en cortocircuito y levantando las escobillas para evitar su desgaste, y el reóstato se vuelve a llevar a su posición inicial. Cuando se desee parar se pulsa en **P**.

ARRANQUE DE MOTOR ASINCRONICO CON REOSTATO

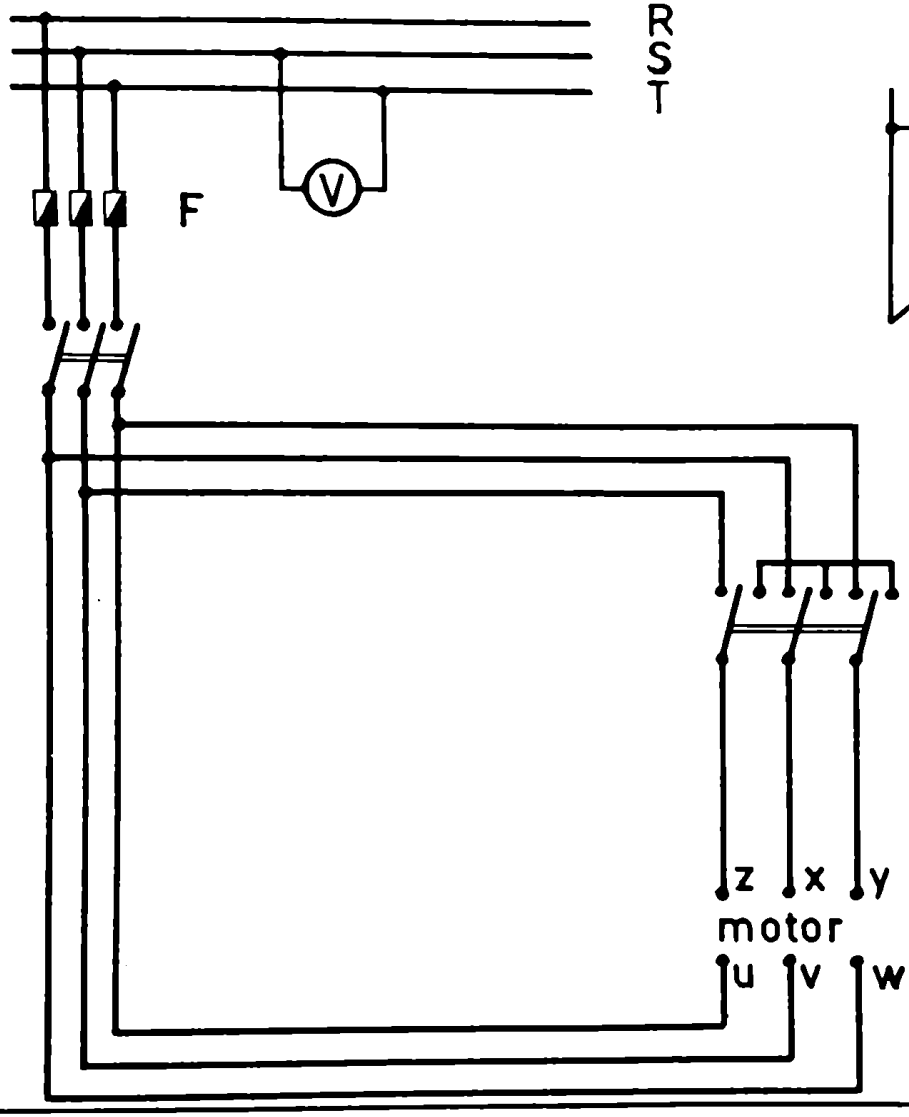


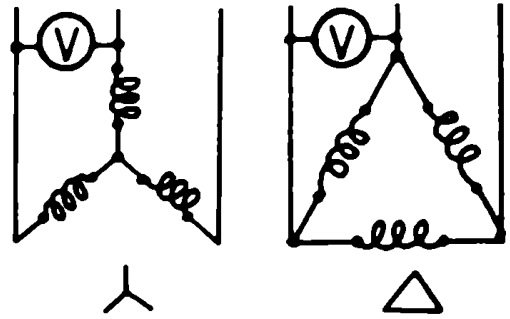
ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO CON PALANCA

Se ha hablado del arranque de los motores asíncronos en otros esquemas donde se fue describiendo el motivo de reducir la corriente; en ellos se trató de reducirla mediante reóstatos de arranque al intercalar las resistencias con las fases abiertas del bobinado del rotor y en otros con resistencias rotóricas eliminadas con contactores.

En los próximos esquemas se va a desarrollar una nueva forma de arranque de motores, cuyo rotor puede ser bobinado y cerrado o pueden ser de jaulas de ardilla mediante el arranque de estrella-triángulo empleado con palanca conmutadora, como es el del presente esquema; con conmutador rotativo, y con contactores estrella-triángulo. Con los tres sistemas de aparatos eléctricos se consigue reducir la corriente primaria o de entrada al motor; si esta corriente se reduce es lógico que el campo rotatorio magnético formado por el flujo será menor, pero para conseguir la reducción de la corriente es mejor reducir la tensión de aplicación al motor, cuya relación con la corriente se verá en esquemas sucesivos; ahora bien, la tensión de línea es prácticamente constante, pero combinando las entradas y salidas de las fases al motor en estrella y triángulo conseguimos el objetivo, ya que se precisa disponer con libertad de los seis bornes a la vista en la caja de bornas, las que se unirán según esquema. Las tres fases de línea, **R**, **S**, **T**, se embornan con las tres entradas al motor **u**, **v**, **w**, y las tres salidas **z**, **x**, **y** unidas al conmutador; éste tiene dos posiciones: la de la derecha, para empezar el arranque en λ en la que, como veremos más adelante, la tensión de línea se reparte entre dos fases, y la segunda posición, a la que se pasa una vez embalado el motor a la izquierda en Δ y la tensión de línea recae solamente en una fase, quedando el motor a su tensión de trabajo, luego la tensión de línea debe ser la que corresponde al motor en conexión de triángulo para poder arrancar en estrella-triángulo. Si la línea es de 220 V el motor debe ser proyectado para 220/380 V, que corresponde 220 V en triángulo.

ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO CON PALANCA





posición derecha ⅄

posición izquierda Δ

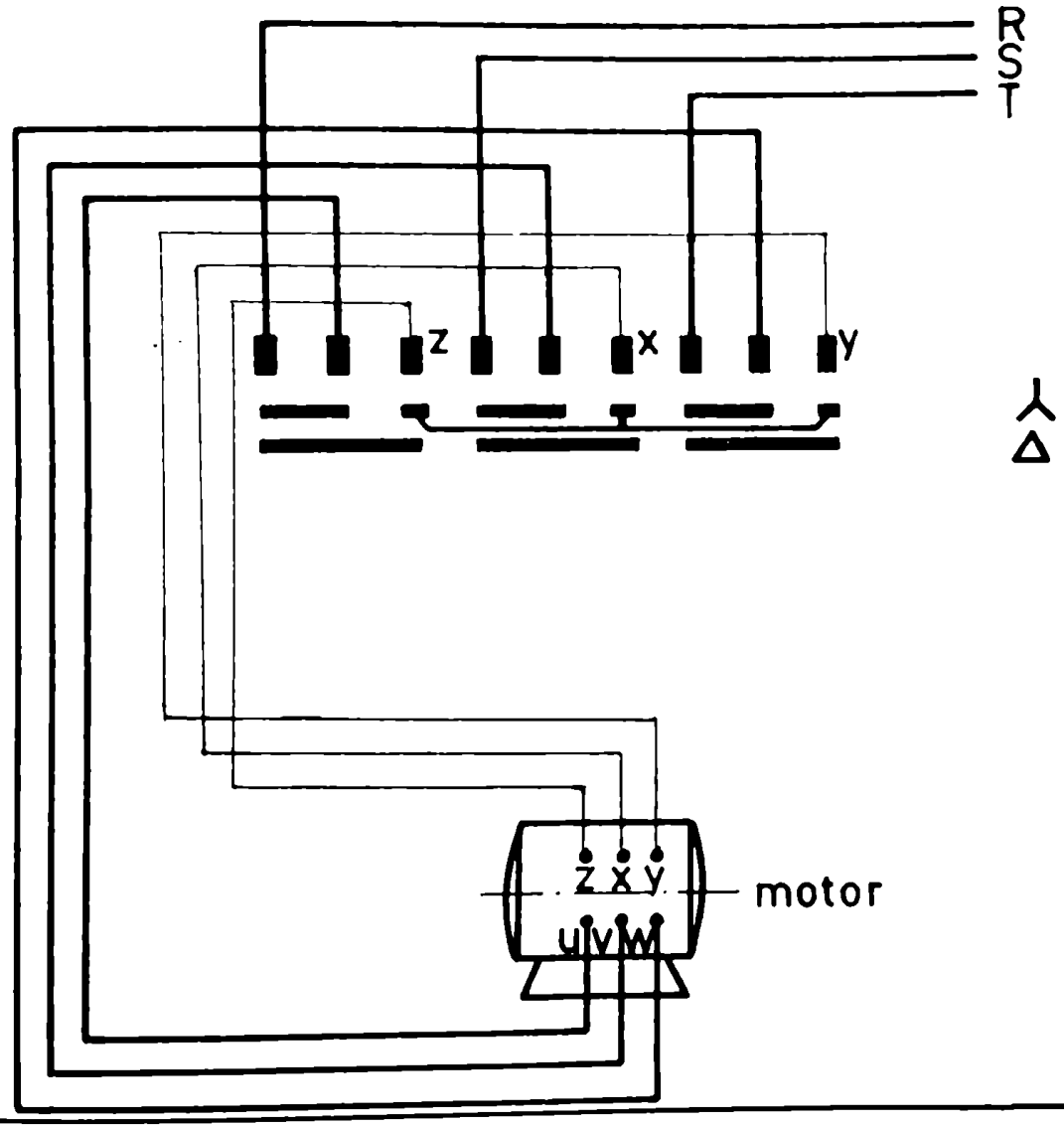
INTERRUPTOR ROTATIVO ESTRELLA TRIANGULO

En el esquema anterior se vio el arranque de un motor asíncrono trifásico mediante un conmutador de dos posiciones de palanca, ahora se trata de un interruptor rotativo de tres posiciones: una de parada, otra de estrella para el arranque y otra de triángulo para el trabajo del motor.

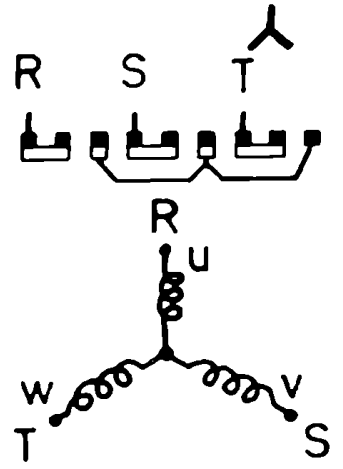
Pongamos el motor en marcha. Para ello, partiendo de la posición de parada o reposo según posición del esquema, giramos el interruptor rotativo en el sentido que ésta señale, que es el λ estrella, y los contactos adoptan la posición indicada a la derecha en **1**, donde se ven los tres bornes **x**, **y**, **z** unidos, los cuales forman el centro de la estrella, mientras que las tres fases **R**, **S**, **T**, unidas respectivamente con las **u**, **v**, **w** a través de los puentes del interruptor, y vemos cómo queda el devanado debajo de la posición **1**. El motor en este instante se pone en marcha con la tensión de línea repartida geométricamente entre dos ramas, cuando lo natural para el funcionamiento del motor sería dicha tensión para una rama, con lo que sometemos el motor a menos tensión, es decir, a $V = \frac{U}{\sqrt{3}} = 0'58$ V de la normal.

Pasamos al segundo punto de la puesta en marcha al volver a girar el interruptor rotativo en el sentido de Δ triángulo, y los contactos adoptan la posición indicada a la parte derecha inferior en **2**, en donde cada fase, **R**, **S**, **T**, se unen con un principio **u**, **v**, **w** y un final **z**, **x**, **y** para formar el triángulo situado debajo. Los puentes que lleva el interruptor rotativo en el detalle se señalan en blanco y en negro en las bornas del motor. La corriente, como vamos a ver en el siguiente esquema, se reduce a la tercera parte con este procedimiento de arranque estrella triángulo ,es decir, que un motor que en aranque directo en triángulo lo haría con 60 A, en estrella-triángulo lo hará con 20 A. Esta ventaja queda reducida cuando el motor debe arrancar con parte de carga, pues el par motor se reduce aproximadamente al 0'6 del nominal.

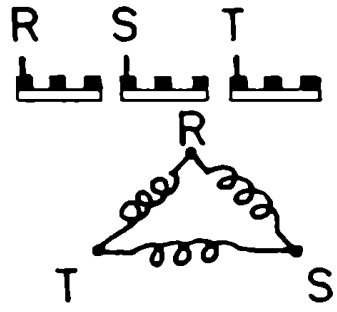
INTERRUPTOR ROTATIVO ESTRELLA TRIANGULO



posición 1



posición 2 Δ



CONMUTADOR ROTATIVO ESTRELLA TRIANGULO

El presente esquema representa un conmutador estrella-triángulo rotativo en el que se ven todas y cada una de las posiciones de contactos de las tres fases en sus tres posiciones: de paro, estrella y triángulo. En paro corresponden las posiciones en puntos; en estrella, las de línea continua y negra, y en triángulo, la línea roja. No hace falta explicaciones de funcionamiento.

El arranque con conexión estrella-triángulo aplicado a los motores con rotor en cortocircuito se verifica a tensión reducida, puesto que es condición que el motor trabaje en triángulo a su tensión; pero esta tensión **V** se la aplicamos a cada fase del motor, y en el arranque se le aplica a dos.

Ejemplo: Tensión de línea de 220 V; tensión de fase en el triángulo de 220 V; tensión de fase en la estrella, $220/\sqrt{3} = 127$ V para el arranque, luego tenemos:

$\mathbf{V}_l = 220$ V, $\mathbf{V}_\Delta = 220$ V, $\mathbf{V}_\lambda = 127$ V; queda $\mathbf{V}_l = \mathbf{V}_\Delta$.

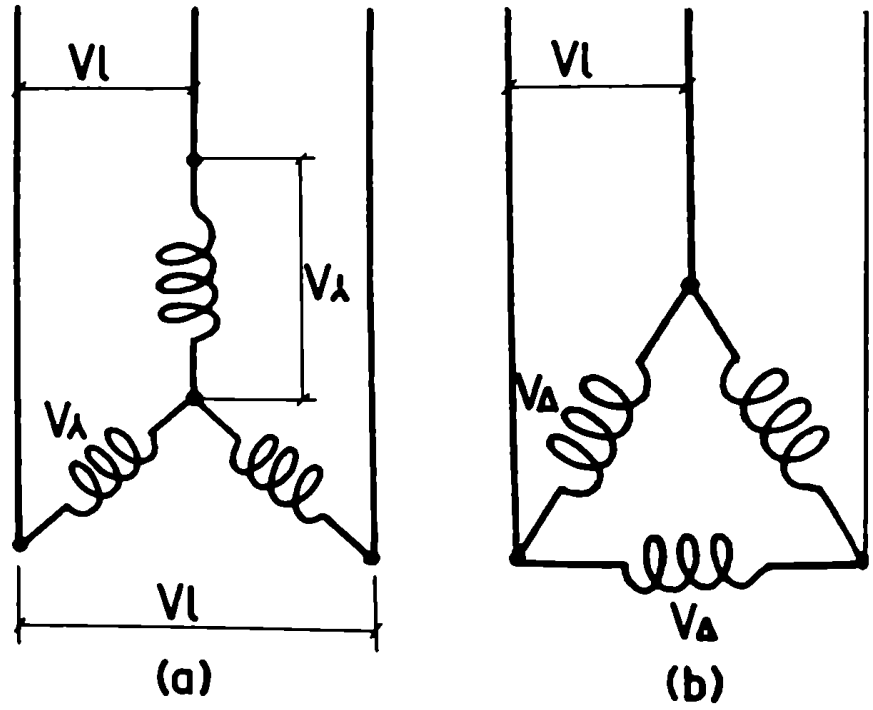
Del esquema (**a**) se deduce,

$$\mathbf{V}_l = \mathbf{V}_\Delta = 2\,\mathbf{V}_\lambda \cos 30° = 2\,\mathbf{V}_\lambda \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}\,\mathbf{V}_\lambda$$

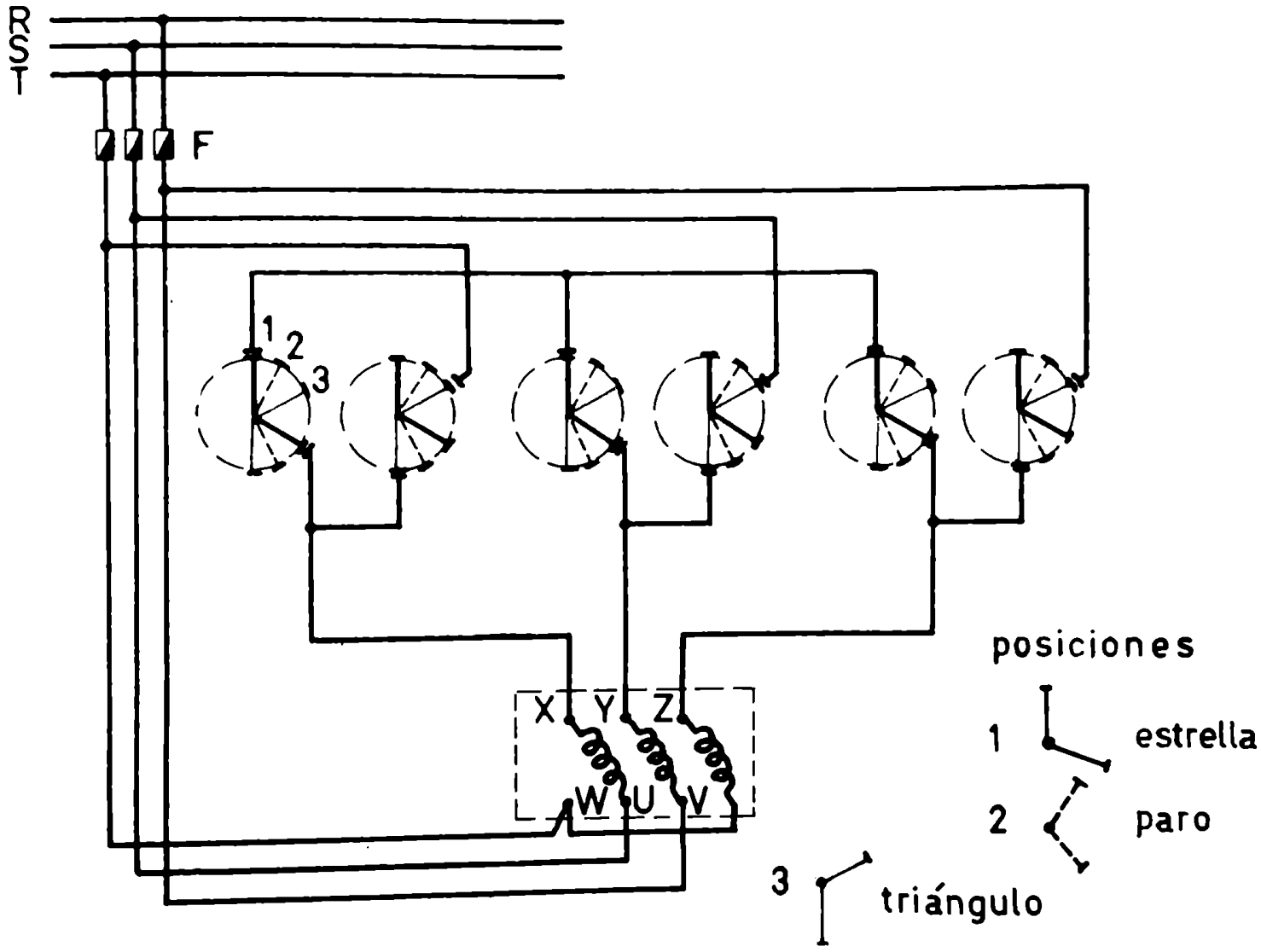
$\mathbf{V}_\lambda = \mathbf{V}_\Delta/\sqrt{3} = 220\ \text{V}/\sqrt{3} = 127$ V.

Se demuestra que este motor para su normal funcionamiento necesitará en estrella $220 \cdot \sqrt{3} = 380$ V, y al conectarlo a 220 V en triángulo y en estrella en el arranque le llegan 127 V por fase.

El motor, para que funcione normalmente durante el trabajo en triángulo, necesitaba 220 V y en estrella necesitaría 380 V, y como lo sometemos para el arranque a 127 V, la corriente de arranque queda reducida a $380/127 = 3$ veces menor. Si el motor en directo adsorbe $5 \cdot I_n = I_a$, en estrella-triángulo adsorberá $I_a = \frac{5 \cdot I_n}{3} = 1'66\ I_n$, notable reducción de arranque.



CONMUTADOR ROTATIVO ESTRELLA TRIANGULO



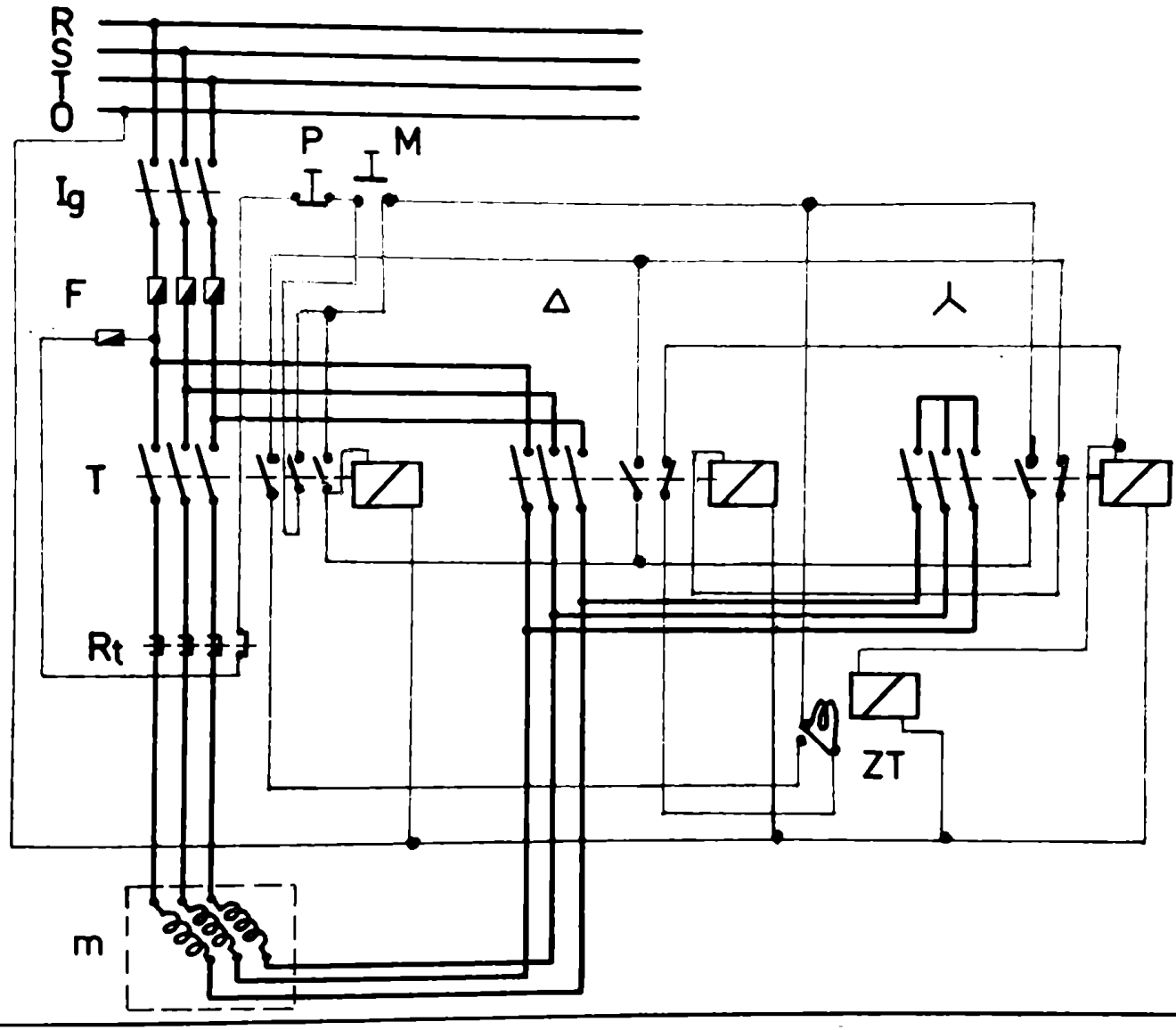
ARRANCADOR ESTRELLA TRIANGULO

En los esquemas anteriores se ha visto y explicado el sistema de arranque de motores por estrella-triángulo empleando el conmutador de palanca accionado a mano introduciendo las cuchillas en un punto donde las tres fases del bobinado quedaban en estrella, y pasado un tiempo contado mentalmente, se pasaba a otro punto, quedando en triángulo y también con el conmutador rotativo, que en resumen es un eje con contactos dispuestos de forma que al girar una manivela se pasa a los puntos de estrella y triángulo igualmente. Estos tienen un uso muy limitado desde que la técnica introdujo en la industria una nueva forma de obtener este arranque empleando contactores eléctricos dimensionados según potencia del motor y tensión de líneas.

La instalación de contactores para el arranque estrella-triángulo consta, en primer lugar, de tres contactores, de izquierda a derecha, y haciendo referencia al esquema presente los describimos así:

El primero, anotado por **T**, es el de línea o trabajo que entra en servicio inmediatamente después que lo hace el de estrella λ; el segundo contactor, anotado por Δ, es el de triángulo, el que deja finalmente el motor en régimen nominal de marcha y entra el último, y el tercer contactor, anotado por λ, es el de estrella y es el primero que actúa de los tres poniendo la salida de las tres fases del motor en el centro de estrella. El orden de entrada y relaciones de los tres contactores y el resto de la instalación lo veremos en el siguiente esquema de mando; ahora seguimos enumerando el resto de elementos: como en todo motor se dispone de un relé térmico magnetotérmico o térmico diferencial para proteger el motor contra sobreintensidades, también se dispone de un relé temporizador **ZT**, cuya misión es temporizar un tiempo **t** regulado en el temporizador según tipo de arranque, potencia, exigencias, etc., que, transcurrido éste, abre unos contactos y cierra otros, como veremos, dejando abierta la estrella y cerrando el triángulo, y el resto, como todo circuito normal, tiene dos pulsadores: uno de marcha y otro de paro, un fusible de mando y un juego de fusibles calibrados para proteger al ralé y motor contra cortocircuitos o grandes sobrecargas.

ARRANCADOR ESTRELLA TRIANGULO

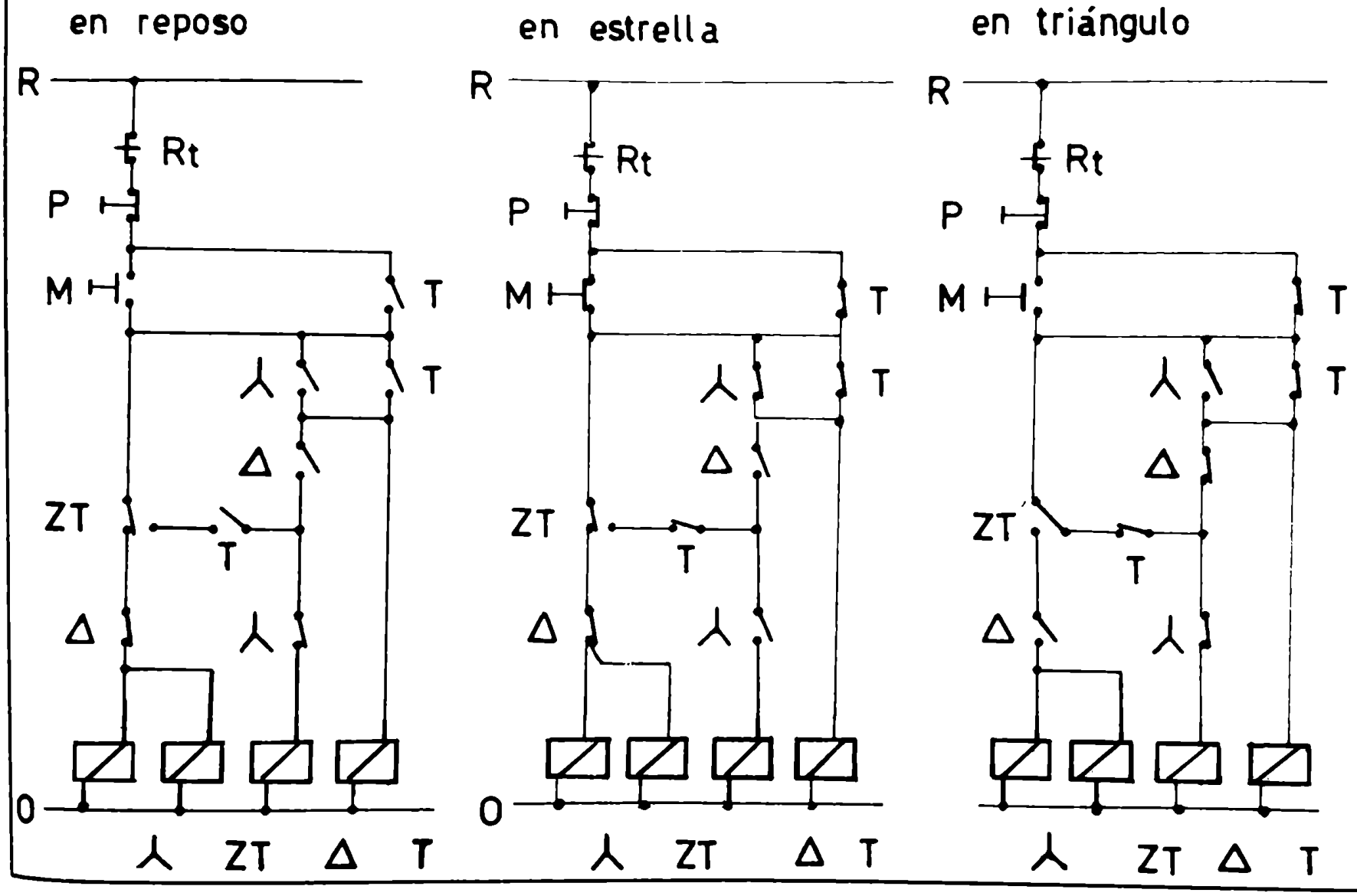


ESQUEMA DE MANDO ESTRELLA TRIANGULO

Generalmente las bobinas de los contactores explicados en el esquema anterior y la del relé **ZT** temporizador se alimentan, como se ve en el presente esquema, entre fase y neutro; si la línea es de 380 V las bobinas trabajan a 220 V; otras veces suelen trabajar a otras tensiones interiores y entonces se precisa un transformador de mando.

En el esquema de mando que vamos a tratar se ven tres totalmente idénticos, salvo que en unos los contactos están cerrados y en otros abiertos y corresponden a las tres posiciones que adopta el arrancador estrella-triángulo del ejercicio anterior; en el primero, llamado de reposo o en situación de paro, cada contacto permanece bien cerrado o abierto, preparados para la puesta en marcha, lo que se conseguirá en el instante en que se pulse en el botón de marcha **M**; pulsado éste la corriente de mando tiene un circuito cerrado y partiendo de la fase **R** pasará por el relé de protección **Rt**, pulsador **P** de paro, pulsador de marcha **M** que hemos pulsado, contacto cerrado del relé temporizador **ZT**, contacto auxiliar del contactor triángulo Δ y ahora dos bobinas en paralelo, la de estrella y la del relé temporizador; ambas bobinas son excitadas y el esquema, durante el tiempo prefijado en el relé de tiempo, queda como el indicado en segundo lugar, en estrella, color rojo; pero además entró el contactor de trabajo **T**, porque se cerró el contactor auxiliar de estrella λ y éste abrió otro contacto auxiliar que bloquea la bobina del triángulo Δ; al entrar el de trabajo se cerraron tres contactos auxiliares del mismo: uno, que prepara el mantenimiento de las bobinas λ y **ZT**; otro, que prepara también el mantenimiento de la bobina **T**, y el tercero, que dará paso a la corriente de la bobina en triángulo Δ cuando dispare el relé de tiempo. Pasamos al esquema en triángulo, que se realiza al disparar el relé de tiempo, el cual abre el contacto de la izquierda y cierra el de la derecha. Al abrir se quedan sin tensión las bobinas λ y **ZT**; al hacerlo la bobina λ, cierra un auxiliar suyo dando paso a la corriente que llega a la bobina de triángulo Δ, quedando retenidos por los contactos **T**-**T**-Δ-λ. Al pulsar en **P** el esquema quedará otra vez en reposo.

ESQUEMA DE MANDO ESTRELLA TRIANGULO



CONMUTADOR ESTRELLA TRIANGULO

En el arranque de motores estrella-triángulo mediante contactores debe comprobarse que el motor accionado haya alcanzado del 70 al 80 por 100 de su velocidad nominal antes de pasar de la conexión estrella a la de triángulo. Caso de que el cambio se realice antes de adquirir el porcentaje de velocidad indicado, debe aumentarse el tiempo de permanencia en la conexión estrella, para que no le permita la subida de velocidad, midiéndola con un tacómetro. Este arranque es muy empleado en máquinas con un par de resistencias, durante el arranque inferior al nominal del motor.

Se representa en el presente ejercicio un conmutador estrella-triángulo **ETCTAR** de Starkstrom, con su instalación completa y un gráfico de arranque para los pares e intensidades.

Curvas de intensidad y par de arranque para motores de rotor en cortocircuito y arranque con conmutador estrella-triángulo:

Las ordenadas representan el par motor y la corriente **en tanto por ciento de la nominal.**

Las abcisas representan la velocidad en tanto por ciento de la velocidad de sincronismo.

P_λ = Par de arranque en el período de la conexión de estrella.

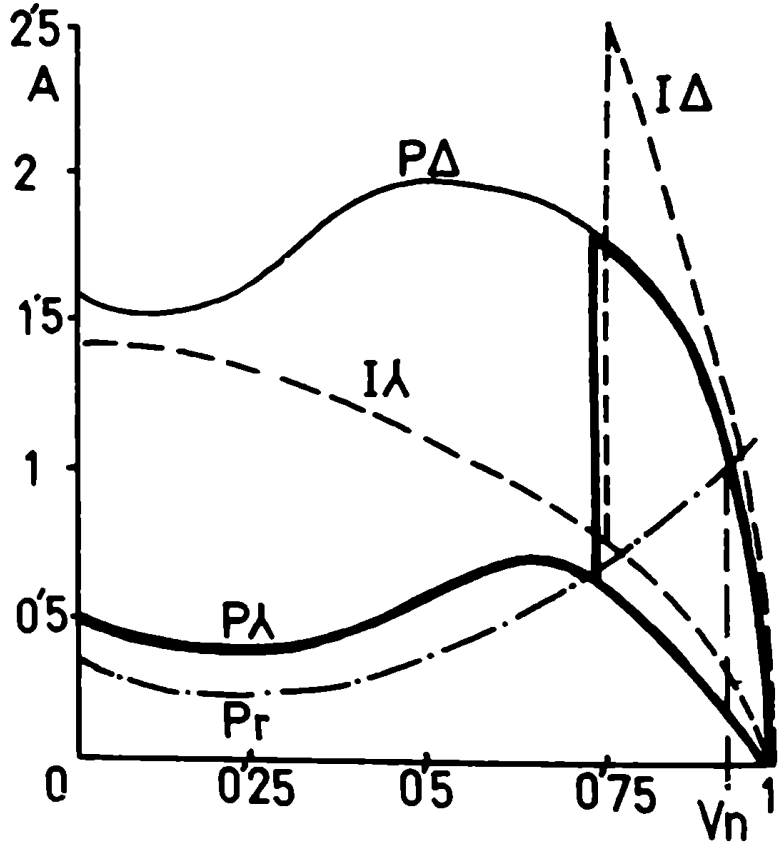
P_Δ = Par de arranque en el período de la conexión de triángulo.

I_λ = Intensidad de arranque durante el período de la conexión en estrella.

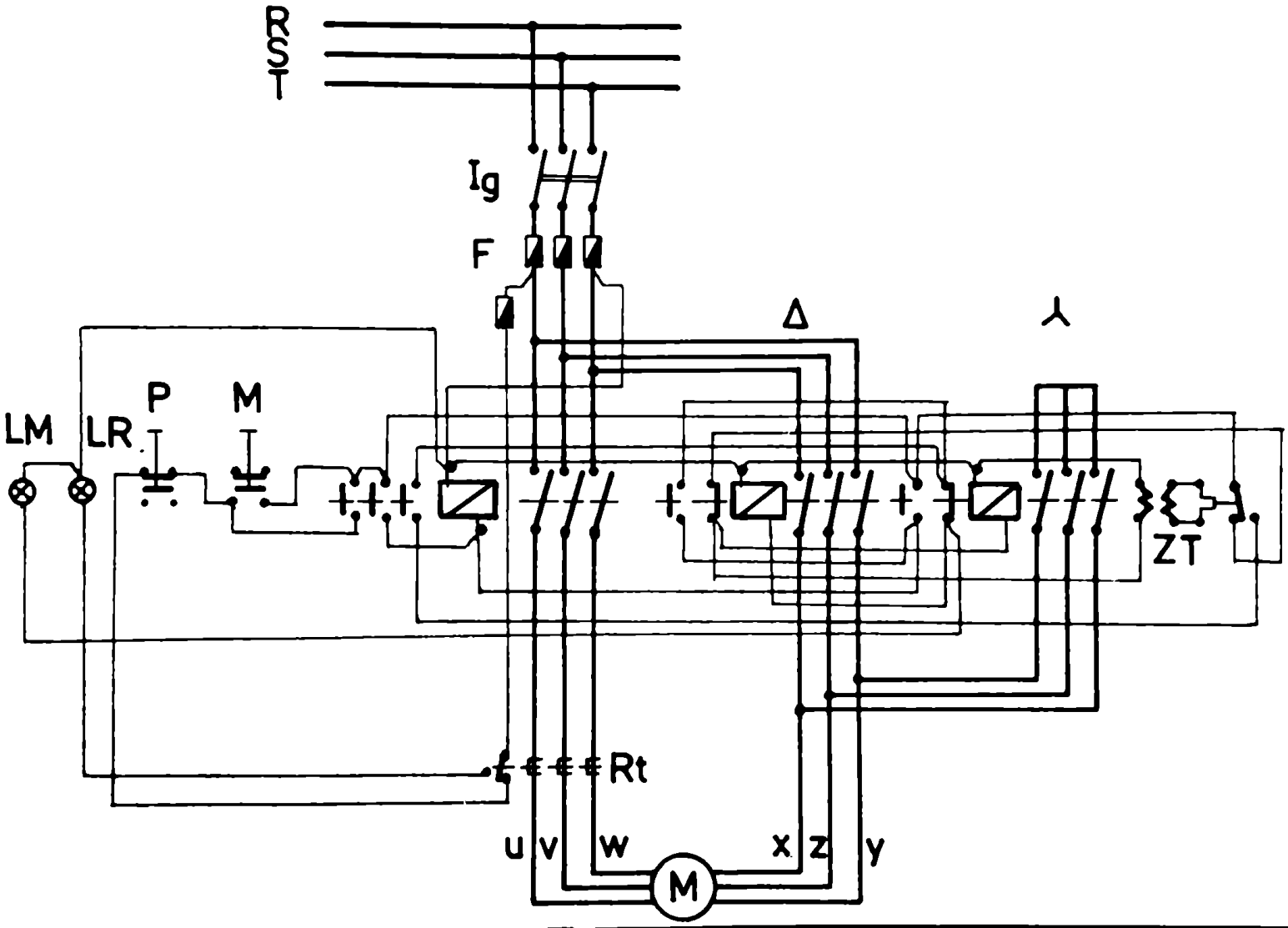
I_Δ = Intensidad de arranque durante el período de la conexión en triángulo.

Pr = Par resistente de la máquina.

La corriente, como se ve, en el momento de la conexión no llega al 15 por 100 de la nominal, y a medida que se va acelerando, la intensidad disminuye, cayendo la curva hasta un punto aproximadamente del 75 por 100 de la **In**, en que cambia la conexión de estrella a triángulo dando un salto brusco de muy corta duración, disminuyendo rápidamente al valor nominal **In** punto de abcisas. Lo mismo se deduce del par motor.



CONMUTADOR ESTRELLA TRIANGULO

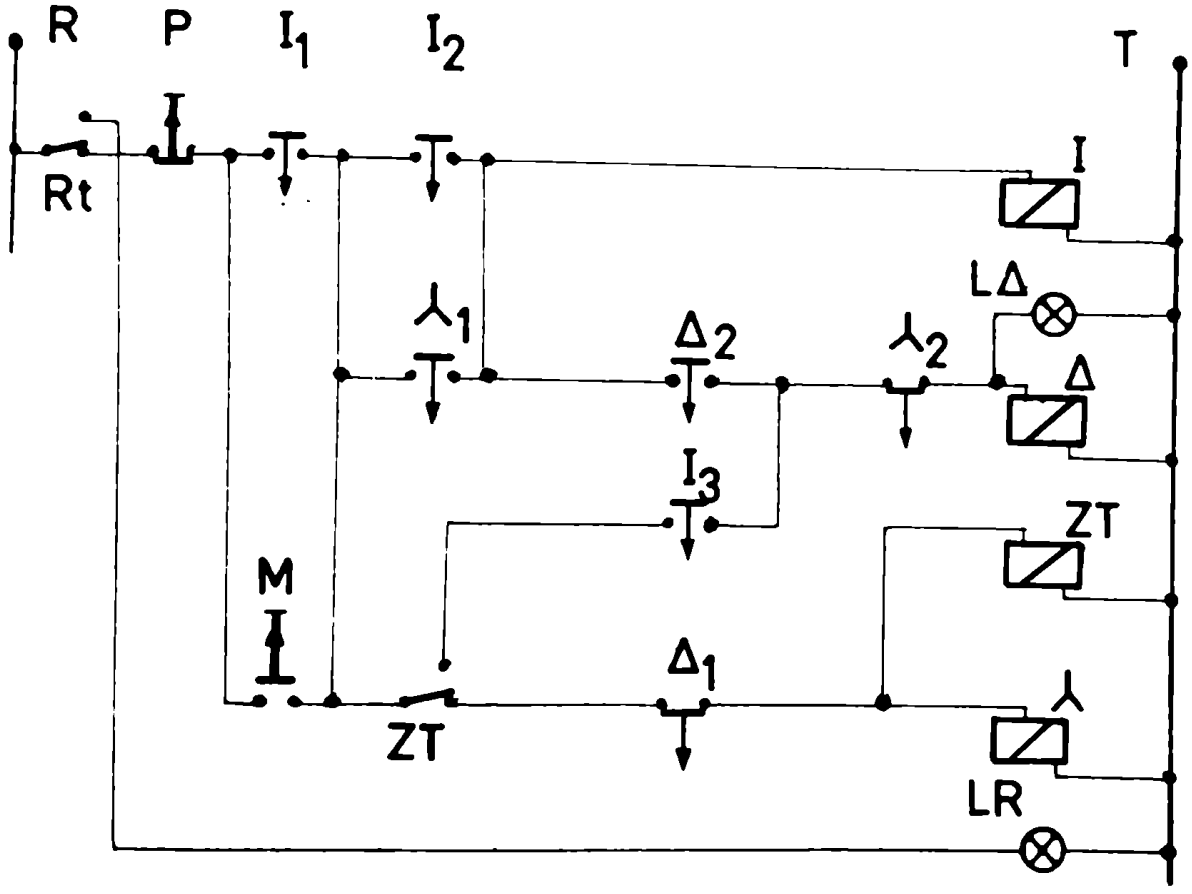


ESQUEMA DE MANDO ESTRELLA TRIANGULO

Del esquema del conmutador arrancador estrella-triángulo del ejercicio anterior se deduce aisladamente el esquema de mando en representación lineal, donde con cierta clarividencia pueden recorrerse los distintos circuitos en que la corriente tiene que pasar y se van a enumerar.

Al poner en marcha el conmutador pulsado en **M** y el primer circuito se forma empezando de fase **R**, relé **Rt**, pulsador **P**, pulsador **M**, relé de tiempo **ZT**, contacto auxiliar del contactor de triángulo Δ_1 y dos bobinas en paralelo, la de estrella λ y la del relé de tiempo **ZT**, ambos actúan, y, como consecuencia de actuar la λ, se cierra el contacto auxiliar λ_1, que alimenta la bobina de trabajo **I**; se abrió el otro contacto auxiliar λ_2, dejando al contactor triángulo Δ bloqueado. Como entró la bobina de trabajo **I**, conectó los contactos auxiliares I_1, I_2 e I_3; el I_1 nos asegura la realimentación de las bobinas λ y **ZT**; el I_2 asegurará la realimentación de la bobina **I**, y el I_3 prepara el circuito de alimentación de la bobina Δ. Todo esto se realiza en décimas de segundo, trabajando ahora el motor en estrella; pero transcurrido el tiempo necesario para la aceleración del motor, el relé temporizador **ZT** actúa abriendo un circuito y cerrando otro. Vamos a ver qué ocurre: al abrir unos contactos desexcita las bobinas λ y **ZT**, y al cerrar otros contactos, da paso a la corriente por el contacto I_3 y por el contacto λ_2 (que acaba de cerrarse al actuar la bobina λ) a la bobina Δ; como consecuencia, ésta abre el Δ_1, dejando bloqueadas las bobinas λ y **ZT**; cierra Δ_2 para asegurar su realimentación cuando **ZT** haya vuelto a su posición inicial, quedando el contactor con su bobina Δ en triángulo y trabajando normalmente con un circuito de mando definitivo por fase **R**, relé **Rt**, pulsador **P** de paro, contactos I_1 e I_2, contactos Δ_2 y λ_2 y a su vez luce el piloto **L**Δ, indicando su normal funcionamiento; caso de lucir el piloto **LR**, es señal que disparó el relé de protección por una sobreintensidad. Pulsando en **P** se para el motor.

ESQUEMA DE MANDO ESTRELLA TRIANGULO



M pulsador de marcha
P pulsador de paro
ZT relé temporizado
R relé térmico
LΔ lámp. señalización marcha triángulo
LR lamp. señalización dexc. sobrecarga
I contactor línea
Y contactor estrella
Δ contactor triángulo

ARRANCADOR INVERSOR ESTRELLA TRIANGULO

Combinando los contactores del grupo inversor-protector y del grupo arrancador-protector estrella-triángulo, la casa Agut prepara el esquema del presente ejercicio denominado arrancador-inversor estrella-triángulo. Ambos circuitos, por separado, han sido estudiados: el inversor, para cambio de giro de un motor, y el arrancador estrella-triángulo, para el arranque; combinándolos se obtienen ambos cometidos en una misma máquina. Esta se compone de dos contactores, **I** y **D**, para la corriente de trabajo o principal, y forman el inversor derecho o izquierdo, con sus contactos auxiliares de enclavamiento, un contador λ para la conexión de estrella primer período de arranque; un contador Δ para la conexión de triángulo; un relé **TM** temporizador motorizado con regulación de 1 a 60 segundos, que permitirá el paso de estrella a triángulo; un relé magnetotérmico **RMT** con contacto de disparo conmutado con un piloto; un fusible protector del circuito de mando, y un pulsador de paro **P** y dos de marcha **MI** y **MD**.

La corriente de arranque obtenida es del 33 por 100 de la corriente en arranque directo e igualmente el par de arranque, mientras que en arranque directo los valores serían **Ia** = 5**In** y **Pa** = 2**Pn**.

Según el siguiente gráfico vemos las relaciones de los distintos pares que se desarrollan en el motor hasta su marcha normal.

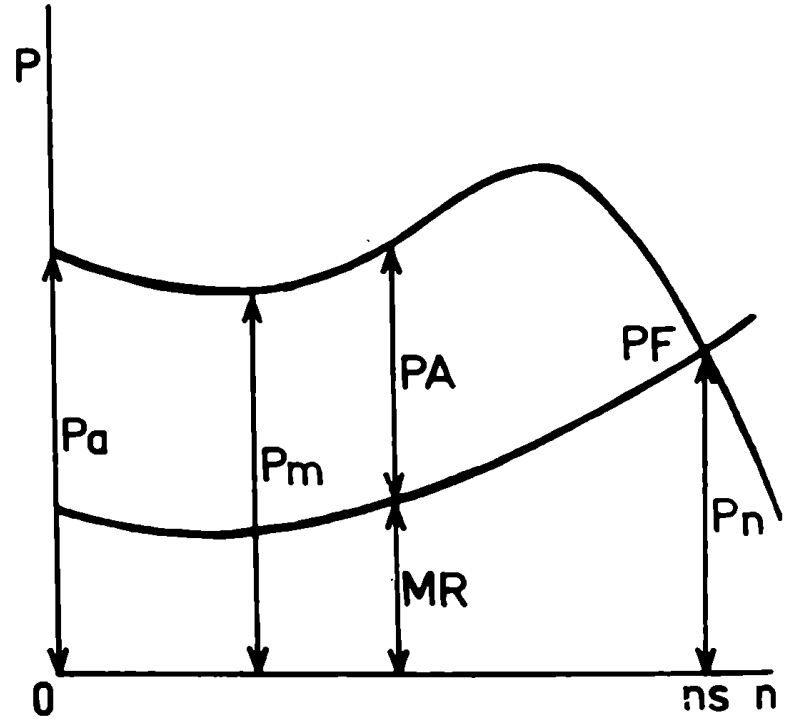
Siendo:

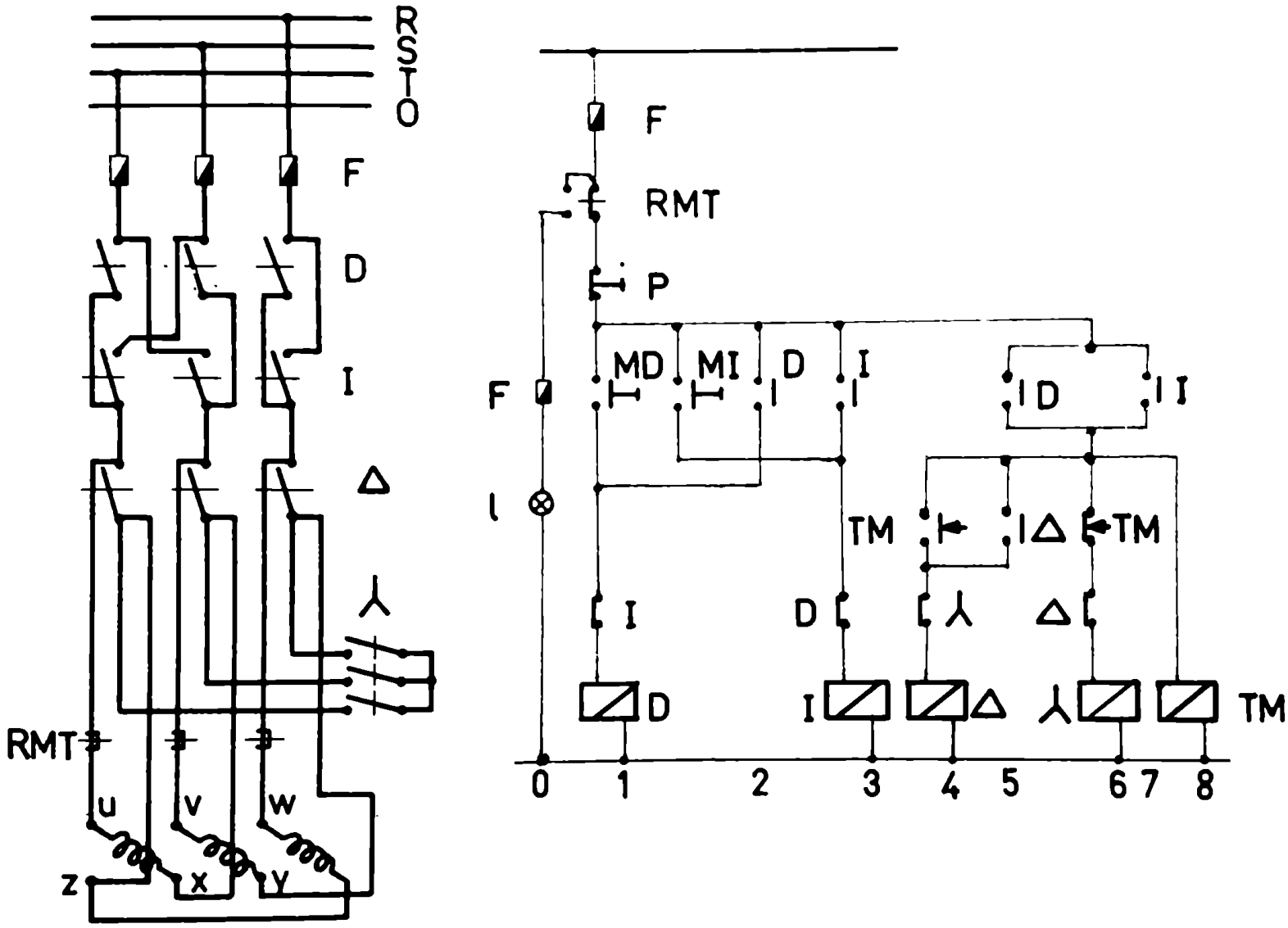
P = Potencia CV.
PF = Punto de funcionamiento.
Pm = Por motor.
Pa = Par de arranque.
PA = Par de aceleración.
PR = Par resistencia de carga
Pn = Par nominal.

$$Pn = \frac{P}{n} \times 975 \text{ m/Kgrm.}$$

de donde

$$P = \frac{n \times Pn}{975} \text{ CV}$$




R
S
T
O
F
D
I
Δ
RMT
u
v
w
z
x
y
F
RMT
P
MD
MI
D
I
F
I D
I I
TM
I Δ
TM
I
D
D
I
Δ
TM
0 1 2 3 4 5 6 7 8

ARRANQUE POR ELIMINACION DE RESISTENCIAS

El presente esquema es un arrancador por resistencias estatóricas para motores con rotor cerrado. Lleva dos juegos de resistencias montadas en el estator, que se van cortocircuitando a medida que el motor adquiere su velocidad normal.

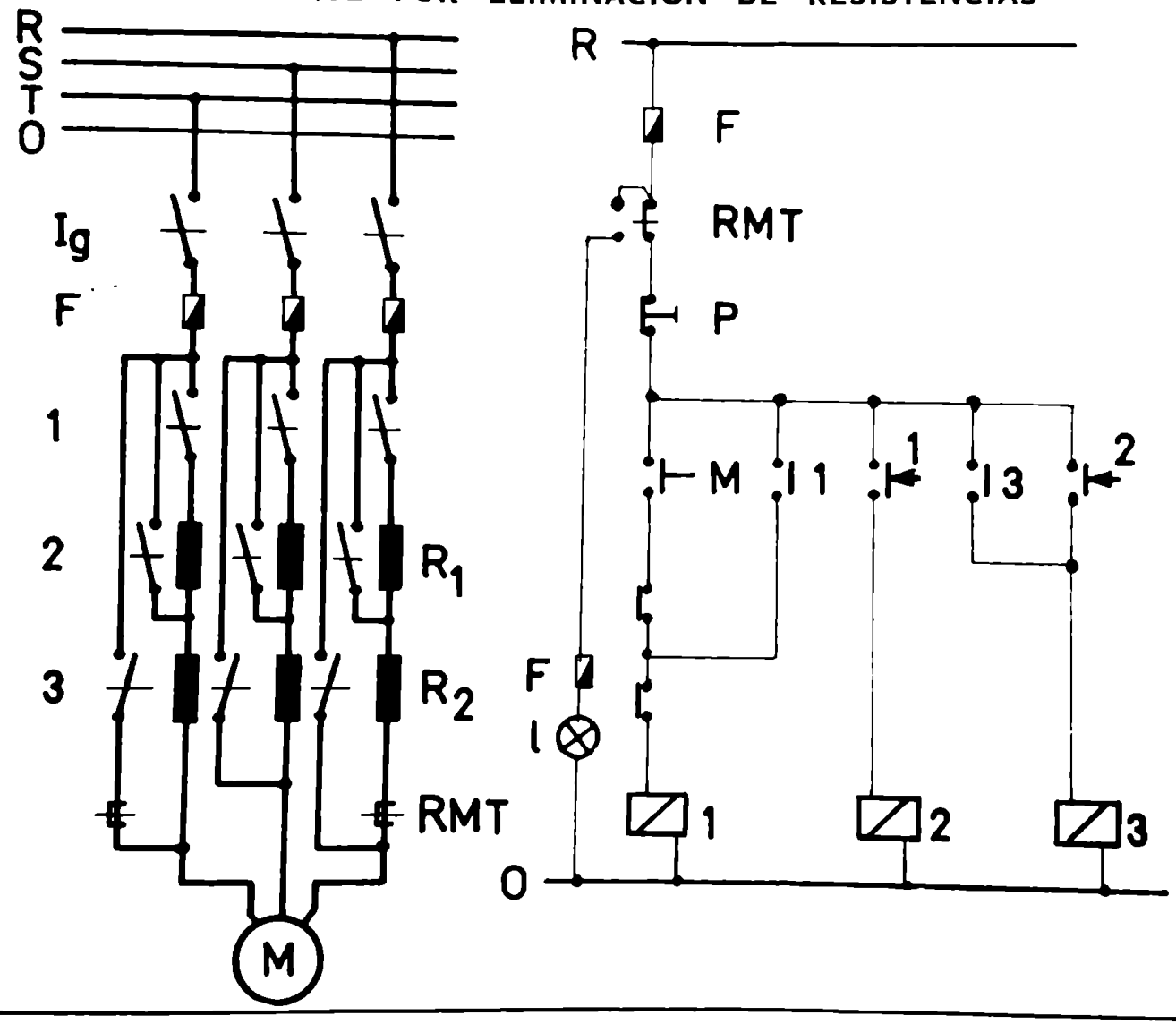
Este esquema, que corresponde al arrancador por resistencias estatóricas de la firma Agut, está dividido para su mejor estudio en dos: uno, el principal o de trabajo con contactores y resistencias, y el otro es el circuito de mando en representación lineal, donde fácilmente se ve su funcionamiento. Sabido es que los motores no deben arrancar cuando su intensidad de arranque sea seis veces superior a la normal, esto pasa en los de poca potencia; a los de mayor potencia se les debe limitar hasta dos veces la normal. El inconveniente de reducir la corriente de arranque es que el momento de giro o par motor disminuye al cuadrado de la tensión a la que se limita el motor en el arranque, pues la corriente disminuye al hacerlo la tensión que disminuimos con las resistencias estatóricas.

Durante el período de arranque son intercaladas las resistencias en serie, cada una en su fase, entre línea y motor, y a medida que el motor se embala se van eliminando las resistencias en grupos de tres. Estos grupos o puntos en número variable dependen de la potencia del motor; no obstante, a más puntos el arranque será más suave y con puntos de corriente menos alta. El relé térmico de protección no actúa durante el período de arranque hasta que, una vez eliminadas las resistencias, el motor consume la corriente normal, que es cuando queda en circuito; así, durante el arranque queda protegido y evita posibles disparos.

Para el arranque se conecta el interruptor general **Ig**; pulsamos el botón de puesta en marcha **M**, y la bobina se excita y conecta el contactor **1**; las resistencias quedan todas en serie con el motor, éste arranca con tensión reducida, se embala, y el contacto temporizado **1** entra actuando la bobina **2** sobre el contactor **2**, que cortocircuita las resistencias $\mathbf{R_1}$; el motor sigue acelerándose y otro temporizador conecta al contacto **2**, que alimenta la bobina **3**, y ésta se realimenta por el contacto **3**, poniendo en cortocircuito el grupo de resistencias $\mathbf{R_2}$ con lo que ahora el motor recibe la tensión total de red.

Los contactores **1** y **2** que alimentan, respectivamente, a las bobinas **2** y **3**, son temporizados; éstos entran uno después de otro en los momentos adecuados a la intensidad que el motor está consumiendo para que no resulte peligrosa y quede entre los límites establecidos; lleva temporizadores neumáticos tipo **BTN** que retardan la conexión del contactor.

ARRANQUE POR ELIMINACION DE RESISTENCIAS



ARRANQUE DE UN MOTOR ASINCRONICO

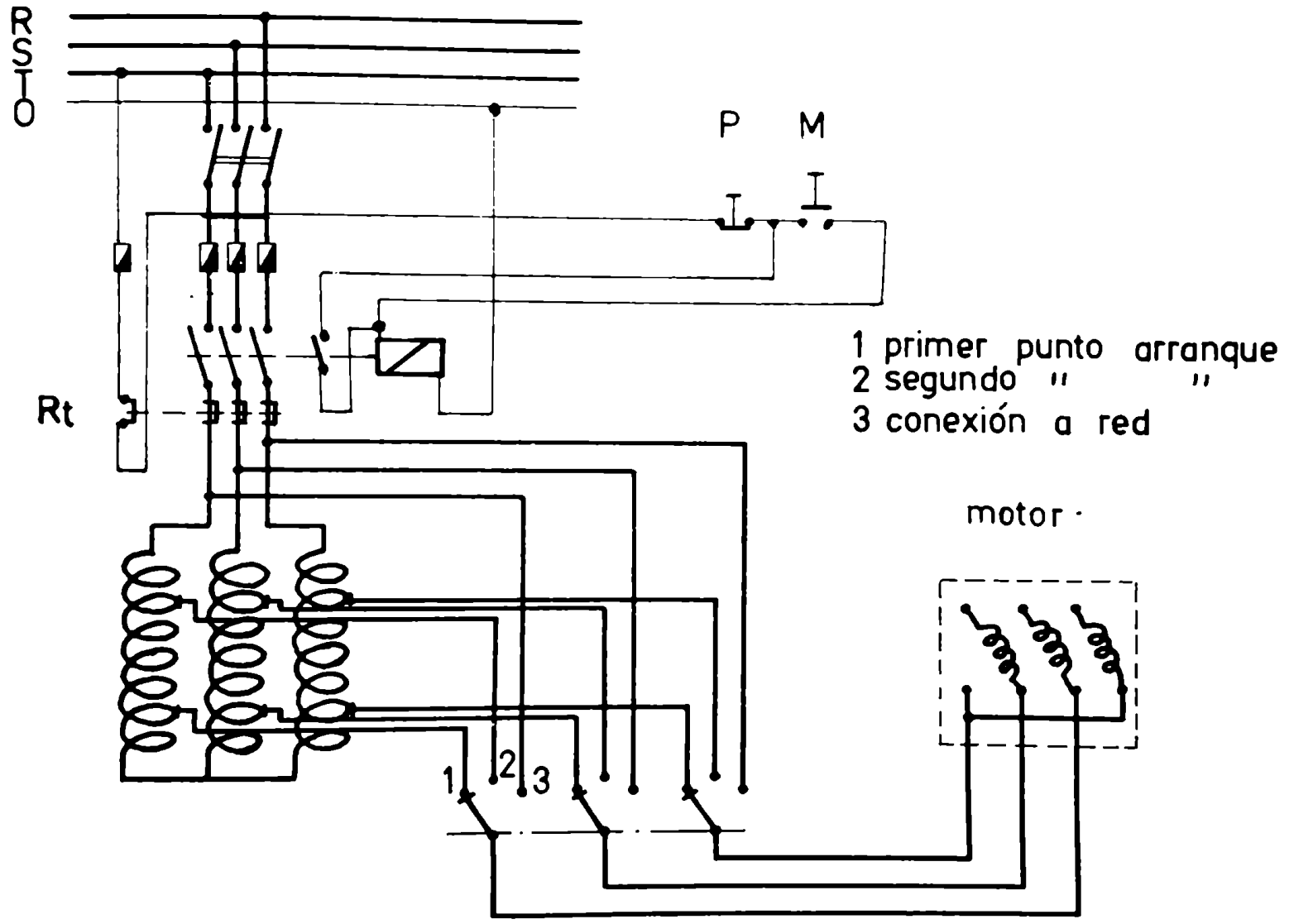
Para el arranque de motores por reducción de su tensión se ha hablado sobre el empleo de resistencias estatóricas y reóstatos por contactores estrella-triángulo, pero hay otro método muy empleado y es con autotransformadores en el primario o estator; este procedimiento tiene la ventaja de que la reducción de tensión se consigue por transformación sin producción de calor y sin pérdida de potencia, como ocurre por el procedimiento de las resistencias estatóricas.

El autotransformador son unas bobinas sobre núcleo magnético montadas una en cada fase y uniendo sus extremos en estrella; las tomas o puntos de sucesivas conexiones al motor pueden ser varios; si es solamente una toma central, la tensión sería reducida a la mitad; si, como en la figura, hay tres tomas, el arranque es más suave y la reducción de corriente es mayor. El arranque puede ser a mano pasando de un punto a otro, como es el del esquema: primero se pulsa en **M** y el autotransformador queda conectado a línea; luego el conectador se pasa de la posición **1** a la **2** y de ésta a la **3**, dando tiempo a que se acelere el rotor. Pueden emplearse contactores y temporizadores, los cuales irán conmutando los distintos puntos hasta el número **3**, que es cuando el motor queda directo a red.

Es más técnico y posee mayores ventajas emplear el arranque automático por contactores a distancia con mando por pulsadores. Al pulsar el primer botón la bobina es excitada y el autotransformador queda conectado a línea y su primer punto al motor a través del autotransformador; el motor arranca con tensión reducida, va adquiriendo velocidad, mientras que el temporizador temporiza, y cuando pasó el tiempo programado, éste conecta el circuito de mando de otro contactor que alimenta al motor, y por otro punto del autotransformador a mayor tensión, el motor sigue acelerándose y otro temporizador vuelve a mandar la corriente de excitación al contactor que nos conecta el motor directamente a la red, con lo que el autotransformador queda eliminado y el motor con la tensión normal de red.

Las tensiones aplicadas al motor son escalonadas, crecientes, durante el período de arranque desde un valor fijado según condiciones de arranque hasta que alcanza la tensión nominal de línea, reduciéndose igualmente la corriente y el par motor proporcionadamente; por esto el par resistente que puede sacar con este arranque es bajo, aplicado a máquinas con par resistente bajo y arranque en vacío.

ARRANQUE DE UN MOTOR ASINCRONICO



ARRANQUE POR ELIMINACION DE RESISTENCIAS

El presente ejercicio trata del arrancador protector por eliminación de resistencias rotóricas mediante temporizadores neumáticos que la casa Agut presenta en su catálogo de control y protección de motores Agut 65 para los modelos **G** y **GR**.

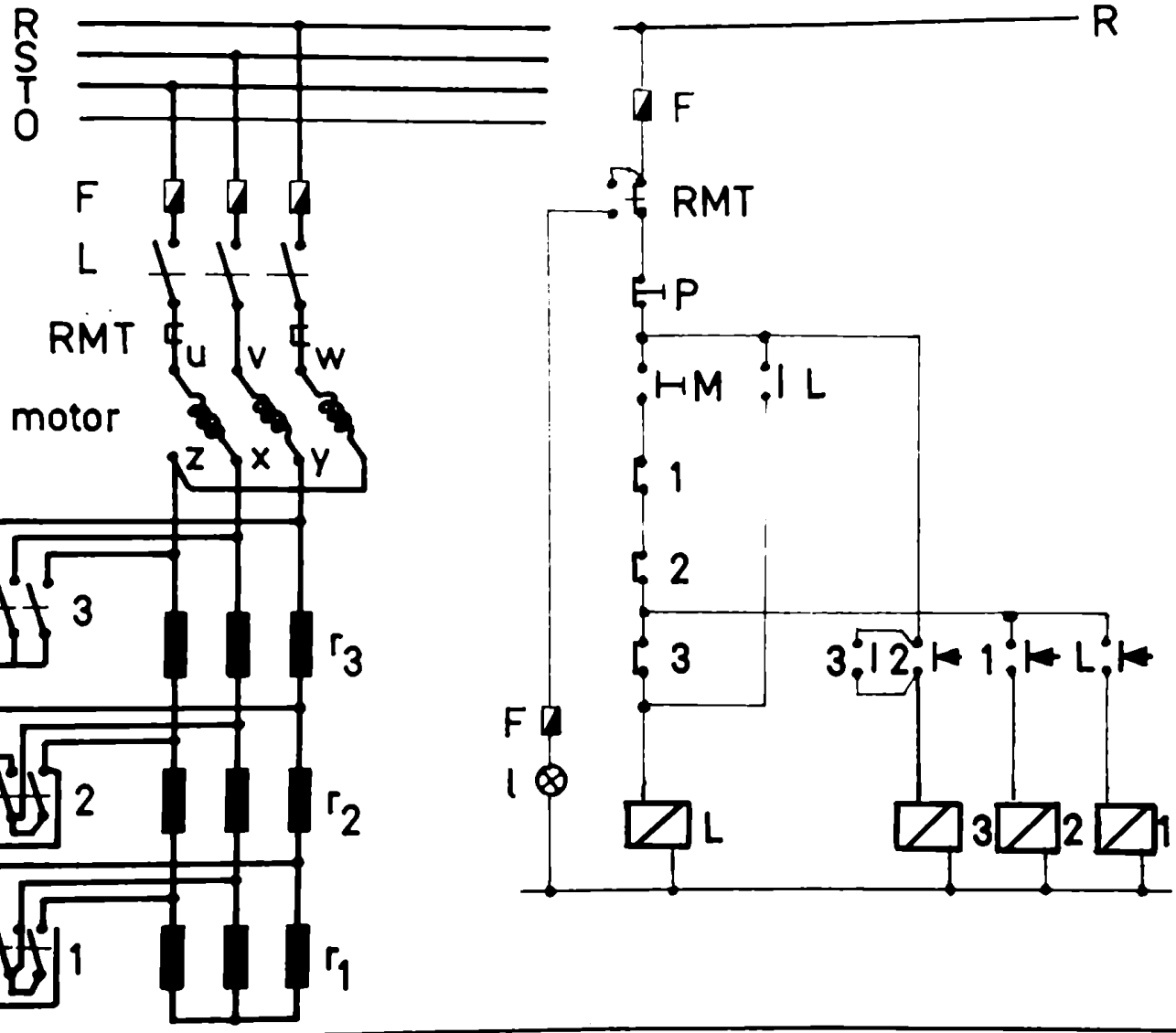
El esquema consta de un motor protegido por un juego de fusibles generales, un relé magnetotérmico **RMT** (ver sus tipos y clasificación en el catálogo-tarifa Agut 65) para protección de sobreintensidad, un contactor letra **L** de línea que conecta el estator del motor a la tensión normal de línea, con un temporizador neumático **BTN** que conecta los contactos del primer contactor eliminador de resistencias. Lleva además tantos contactores de eliminación de resistencias, menos uno, con sus temporizadores neumáticos **BTN** para provocar la conexión diferida del contactor de eliminación de la resistencia siguiente.

Arranque del motor:

Veamos paso a paso el arranque del motor: Se pulsa el botón de puesta en marcha **M**, la corriente circula desde la fase **R**, fusible de mando **F**, relé **RMT**, pulsadores **P** y **M**, contactos auxiliares de contactores **1**, **2** y **3**, bobina **L** al neutro; al levantar el botón **M**, el mantenimiento lo hace por el contacto auxiliar **L**, derivado con **M 1**, **2** y **3**; por lo tanto, el motor quedó conectado a red por **L** y arranca con todas las resistencias en circuito a tensión reducida, mientras el primer temporizador temporiza cuando ya ha adquirido cierta velocidad y conecta el contacto temporizado **L** que alimenta la bobina **1**, entrando el contactor **1** eliminando el primer juego de resistencias **r1**; seguidamente el segundo temporizador, transcurrido su tiempo regulado, conecta el contacto **1** que alimenta la bobina **2**; ésta actúa sobre el contactor **2** y cortocircuita el segundo juego de resistencia **r2**; el motor se acelera continuamente y el tercer temporizador, trascurrido el tiempo regulado en él, conecta el contacto **2** que alimenta la bobina **3**, la cual hace cerrar el contactor **3** y cortocircuita el tercer grupo de resistencias **r3**, quedando el rotor en estrella con las resistencias eliminadas y el motor a plena velocidad.

Es de hacer observar que, cuando actúa la bobina **L** del contactor de línea, la corriente que la excita pasa por los contactos auxiliares **1**, **2** y **3** correspondientes a los contactores **1**, **2** y **3**. Si un contactor estuviera cerrado tendría a uno o varios grupos de resistencias eliminadas en el arranque, con lo que el arrancador estaría eliminado y el arranque sería brutal; para evitar esto es por lo que lleva el contacto auxiliar y éste estaría abierto bloqueando la corriente de mando de arranque, así las tres bobinas quedan enclavadas. Cuando el tercer temporizador quede fuera de circuito abre el contacto **2**, pero la bobina **3** se realimenta por el auxiliar **3**.

ARRANQUE POR ELIMINACION DE RESISTENCIAS



ARRANQUE CON TEMPORIZADOR

Se trata del arranque automático de un motor con rotor bobinado abierto, sacando sus tres fases mediante tres anillos y escobillas a tres resistencias de arranque, calculadas para que el motor arranque a mitad de la tensión de red.

Consta de un juego de fusibles **F** de protección contra cortocircuitos; un contactor de línea **L** para conectar el motor a red; su relé **Rt** de protección; un juego de pulsadores marcha **M** y paro **P**; un contactor **CA** de arranque; un juego de resistencias **RA**, conectado su final en estrella, y un relé temporizador **RT** en el que el tiempo de arranque se regula para dar tiempo a que el rotor alcance la velocidad de régimen y entonces él haga actuar el contactor **cA**.

Puesta en marcha del motor:

El circuito se encuentra en reposo según indica el esquema; se pulsa el botón puesta en marcha **M**, y la corriente de mando recorre el siguiente circuito: fase **R**, relé de protección **Rt**, pulsadores **P** y **M**, bobina del contactor **L** de línea y neutro; el mantenimiento de bobina se realiza por el contacto auxiliar de permanencia **p**, y el estator del motor queda conectado a línea. En derivación con la bobina del contactor **L** se encuentra el relé temporizador, el que se reguló a un tiempo de arranque; este arranque se está efectuando en estos momentos; el motor, al tener intercaladas las resistencias en el rotor, tiene una reacción y un par de arranque limitado por ellas y la corriente absorbida es reducida; por ello el motor va acelerándose poco a poco acercándose a su velocidad normal, cosa que consigue en el tiempo regulado en el relé temporizador que, transcurrido éste, actúa cerrando el contacto **RT** en serie con la bobina del contactor **cA** de arranque a velocidad normal; al cerrarse este contactor en estrella las resistencias **RA**, limitadoras de corriente, quedan fuera de servicio y el motor funcionando a su régimen normal. El relé temporizador se desconecta y abre el contacto **RT** para quedar fuera de servicio, puesto que su función ya quedó terminada y la realimentación de la bobina que mantiene la estrella del rotor se realiza por el contacto **c** auxiliar de permanencia.

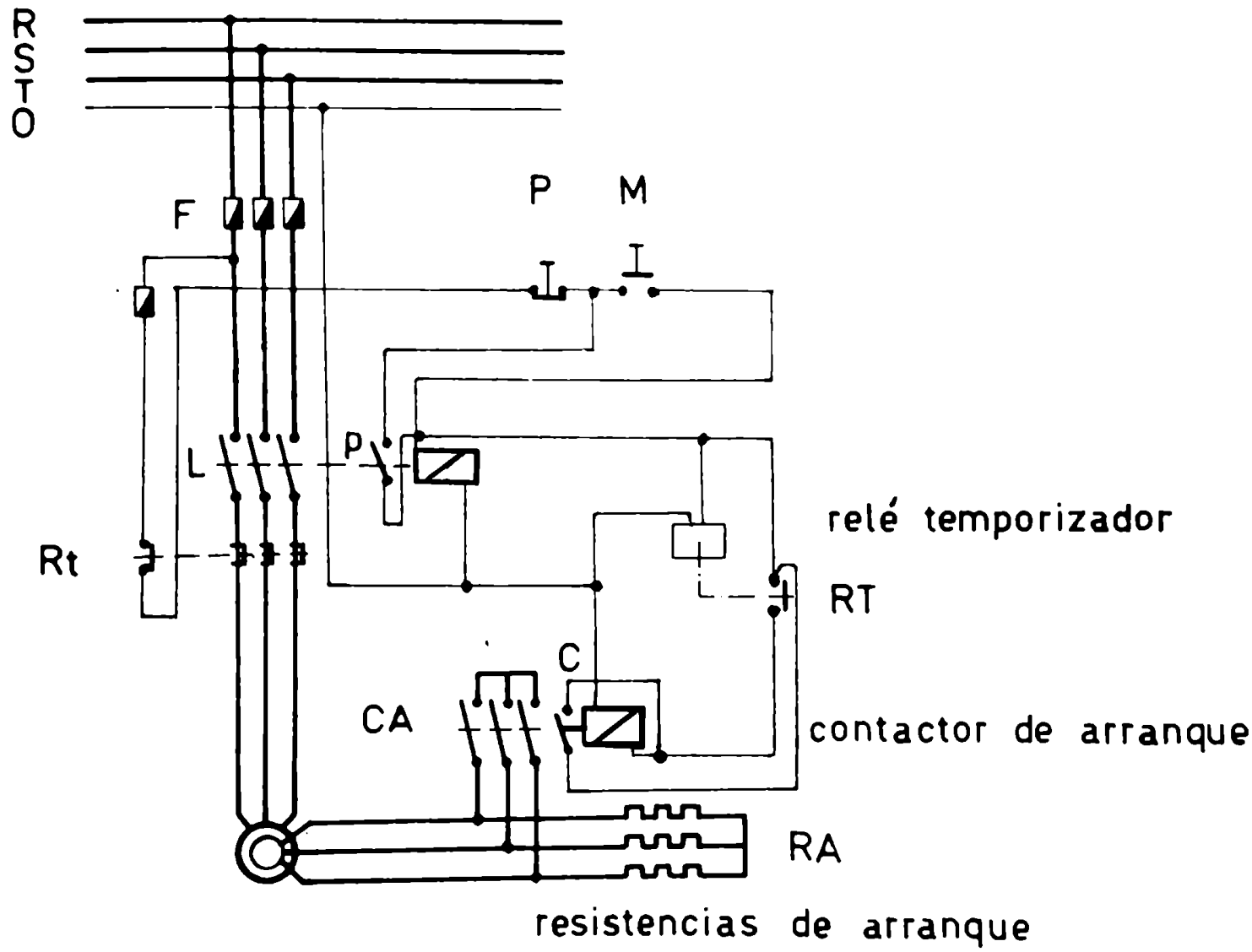
Cuando el motor se para al pulsar el botón **P** de parada o cuando dispara el relé térmico de sobreintensidad, el contactor **L** deja fuera de servicio y de red al motor; ahora el contactor **cA** se abre y también su contacto de realimentación **c**, asegurando una nueva puesta en marcha; quedando la instalación, según esquema, en reposo.

En otros ejercicios se han visto diversos relés temporizadores, los que pueden ser motorizados con motor síncrono, neumáticos, temporizadores manuales, etc.

Los relés térmicos suelen ser de varios calibres, así como los magnetotérmicos, con dos límites de regulación máxima y mínima, entre los que debe quedar la intensidad normal del motor. Para los relés montados en los arrancadores estrella-triángulo la regulación se fija a una intensidad igual al producto de la nominal por $0'58 = 1 : \sqrt{3}$

El fusible del circuito de mando se monta de 4 A para potencias bajas y de 6 A para potencias mayores.

ARRANQUE CON TEMPORIZADOR



ARRANQUE AUTOMATICO TEMPORIZADO

El presente esquema trata del arranque de un motor con rotor bobinado abierto, este arranque es automático temporizado por dos relés de tiempo **ZT1** y **ZT2**, los que ponen sucesivamente en cortocircuito los escalones de resistencias.

El circuito de carga o principal consta de los elementos siguientes: un motor asincrónico con rotor bobinado y abiertos sus devanados a través de unos anillos y escobillas; los grupos o escalones de resistencias **RA1** y **RA2** para el arranque; dos contactores **C1** y **C2** de arranque; un contactor de línea **L** para conectar el motor a red, un juego de fusibles calibrados **F**. El circuito de mando comprende un fusible de mando **FM** de 6 A, un relé térmico de protección **Rt**, pulsador de paro **P** y pulsador de puesta en marcha **M**; dos relés temporizadores **ZT1** y **ZT2**, con sus contactos de arranque temporizados. Los tres contactores llevan unos contactos auxiliares, cuya función se verá.

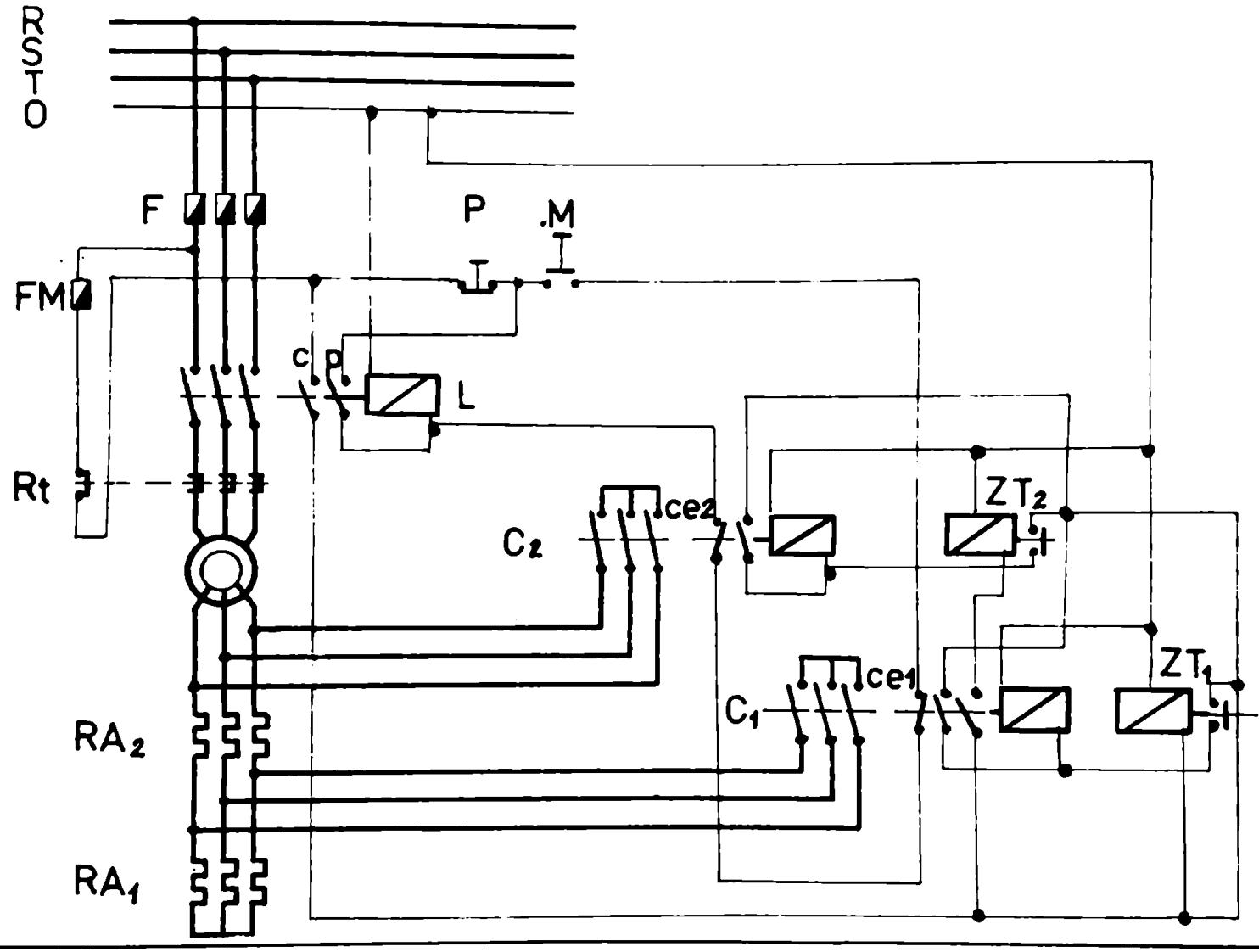
Puesta en marcha del motor:

Al pulsar el botón de puesta en marcha **M** la corriente de mando pasará por fusible de mando **FM**; relé **Rt**; por los dos pulsadores **P** y **M**; por los contactos de enclavamiento **Ce1** y **Ce2**; bobina del contactor **L**, y neutro. En caso de que algún contacto de enclavamiento no estuviese cerrado, la bobina **L** no se excitaría, por estar el contactor **c1** o **c2** cerrados, y hay que revisarlos. El motor se ha puesto en marcha en cuanto conectó el contactor **L** y las resistencias intercaladas, y empieza el rotor a acelerarse; la bobina **L** se autoalimenta por el contacto de permanencia **p** y también fue conectado el contacto auxiliar **c** que alimenta al relé temporizador **ZT1**, el cual empieza a consumir el tiempo regulado en él y, transcurrido éste, cierra un contacto que da tensión a la bobina del contactor **c1**; éste es conectado y la resistencia **RA1** del primer escalón queda fuera de servicio, mientras que el motor sigue acelerándose; a su vez el contactor **C1** cerró dos juegos de contactos, cuya misión es: la de uno, la autoalimentación de la bobina al dejar de funcionar el relé **ZT1**, quedándose fuera de circuito; el otro nos conectó el segundo relé **ZT2**, empezando a consumir el tiempo en él regulado. Transcurrido el mismo, cierra el contacto que da tensión a la bobina del contactor **C2**, el que se conecta y deja a la resistencia **RA2** cortocircuitada y fuera de servicio. Este contactor seguirá autoalimentándose por un contacto auxiliar que cerró, mientras que el relé temporizador queda fuera de servicio.

Si se para el motor con un pulsador de paro **P**, o dispara el relé térmico de protección, los contactores **L** y **c2** desconectan el **L**, la tensión de red al motor y el **c2** la estrella del rotor, dejándolo con las resistencias intercaladas para empezar un nuevo arranque.

Acabamos de ver la importancia de la utilización de los relés temporizadores de los circuitos automatizados. En este esquema se han empleado relés no cíclicos, en cuya función terminan una vez arrancado el motor, pues éstos, una vez que se le dio orden al relé y cierra (o abre) los contactos, queda en reposo sin trabajar.

ARRANQUE AUTOMATICO TEMPORIZADO



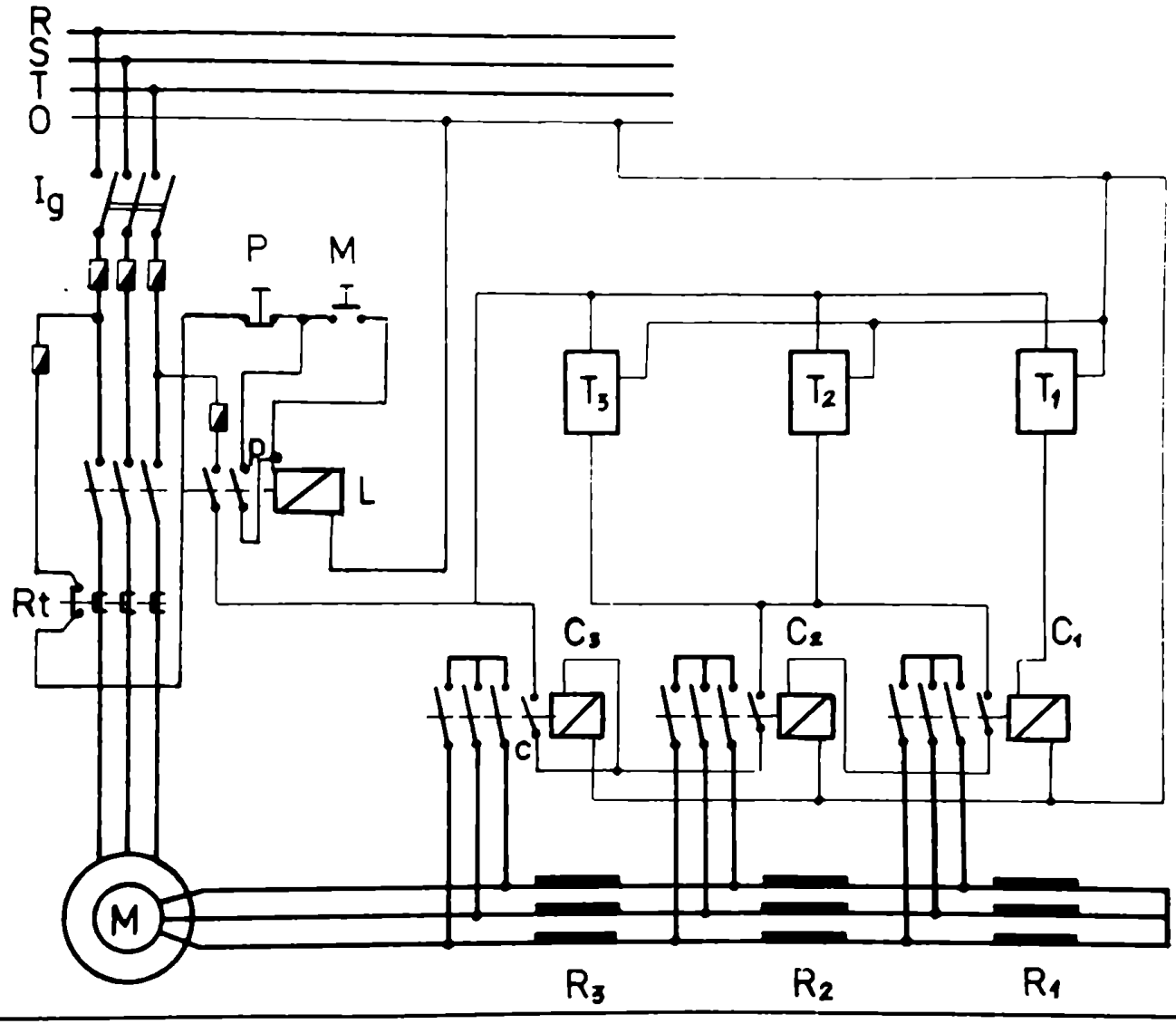
ARRANQUE POR RESISTENCIAS ESCALONADAS

El esquema correspondiente a este ejercicio trata del arranque de un motor trifásico, de rotor bobinado, unido a tres grupos de resistencias escalonadas limitadoras de corriente en el arranque. El motor es alimentado a la tensión normal de línea, y el rotor en serie con las resistencias intercaladas en número de tres escalones o puntas de arranque impuestos por las condiciones de la máquina o bien por limitaciones de las compañías suministradoras de energía. El paso de un punto al siguiente y sucesivos se obtiene a través de conmutaciones en los contactos de los temporizadores usados por resistencia, neumáticos, motorizados, sincrónicos o electrónicos. La función de retardo en los relés temporizadores se consigue de distinta forma, según se trate de uno u otro tipo; pero siempre se realiza mediante un dispositivo que cierra unos contactos excitando la bobina del contactor una vez transcurrido el tiempo fijado en él. El efecto conseguido con las resistencias en el rotor es que, en el momento de arranque, el rotor tiene una tensión como secundario de un transformador y en movimiento esta tensión es nula, luego en el momento de reposo, al tener el bobinado en serie las resistencias, éste queda a tensión reducida y las corrientes inducidas en él son limitadas a medida que el rotor acelera; esta tensión rotórica disminuye con la velocidad, llegando un momento crítico en que se anula; es el de sincronismo.

Puesta en marcha del motor de este esquema:

Se pulsa el botón de puesta en marcha **M**. El contactor de línea **L** se conecta poniendo el motor bajo tensión de línea y el estator crea su correspondiente campo magnético rotatorio, que corta las bobinas del rotor, el que se pone en movimiento con todas las resistencias intercaladas, pues los contactores **C1**, **C2** y **C3** están abiertos; la bobina tiene un contacto de realimentación o permanencia en **p**; el motor, a medida que va venciendo el par resistente de la máquina y su propia inercia, se acelera. Cuando entró el contactor lo hizo también un contacto auxiliar que alimenta el circuito derivado de los tres relés temporizados, los que se han regulado a distintos tiempos de accionamiento, de forma que se verifica $t_1 < t_2 < t_3$. Al transcurrir el tiempo t_1 del primer temporizador, éste conecta el contacto que alimenta el contactor c_1, cerrándose en estrella y quedando eliminado del circuito el escalón resistente R_1; el temporizador T_2 sigue funcionando hasta que transcurre el tiempo t_2 regulado en él, entonces conecta el circuito de excitación del contactor c_2 volviéndose a formar otra estrella delante del escalón resistente R_2; el relé T_3, que funciona desde el principio, también llega a consumir un tiempo y conecta la bobina **C3** de su contactor eliminando el tercer y último escalón R_3 de resistencias, quedando el rotor en completo cortocircuito. Como se ve, cada contactor va enclavado con el anterior de forma que no pueda conectarse antes de corresponderle, y de esa forma el contactor **c2** no entrará por equivocación, por avería, por causas de mal ajuste de los tiempos, etc., si no lo hizo primero el **c1**. Lo mismo ocurre con el **c3**, que no entrará si no lo hizo el **c2** primero. Después de finalizado todo el arranque los relés temporizadores se desconectan, quedándose fuera de servicio, y el contactor **c3** se realimenta su bobina por el contacto auxiliar de permanencia **c**. Al parar el motor, bien por pulsar en **M** o por disparo del relé **Rt**, los contactores **c3** y **L** de línea se abren, quedando en reposo todos los elementos del circuito, según el esquema.

ARRANQUE POR RESISTENCIAS ESCALONADAS



ARRANCADOR DE RESISTENCIAS A RELE DE TENSION VARIABLE

Otro sistema de arranque para motores de corriente alterna trifásica de rotor bobinado lo tenemos en la utilización de arrancadores por eliminación de resistencias rotóricas mediante relés de tensión variable, tal es el esquema presentado en este ejercicio que la casa Agut expone en el mercado para contactores de los modelos **G** y **GR**.

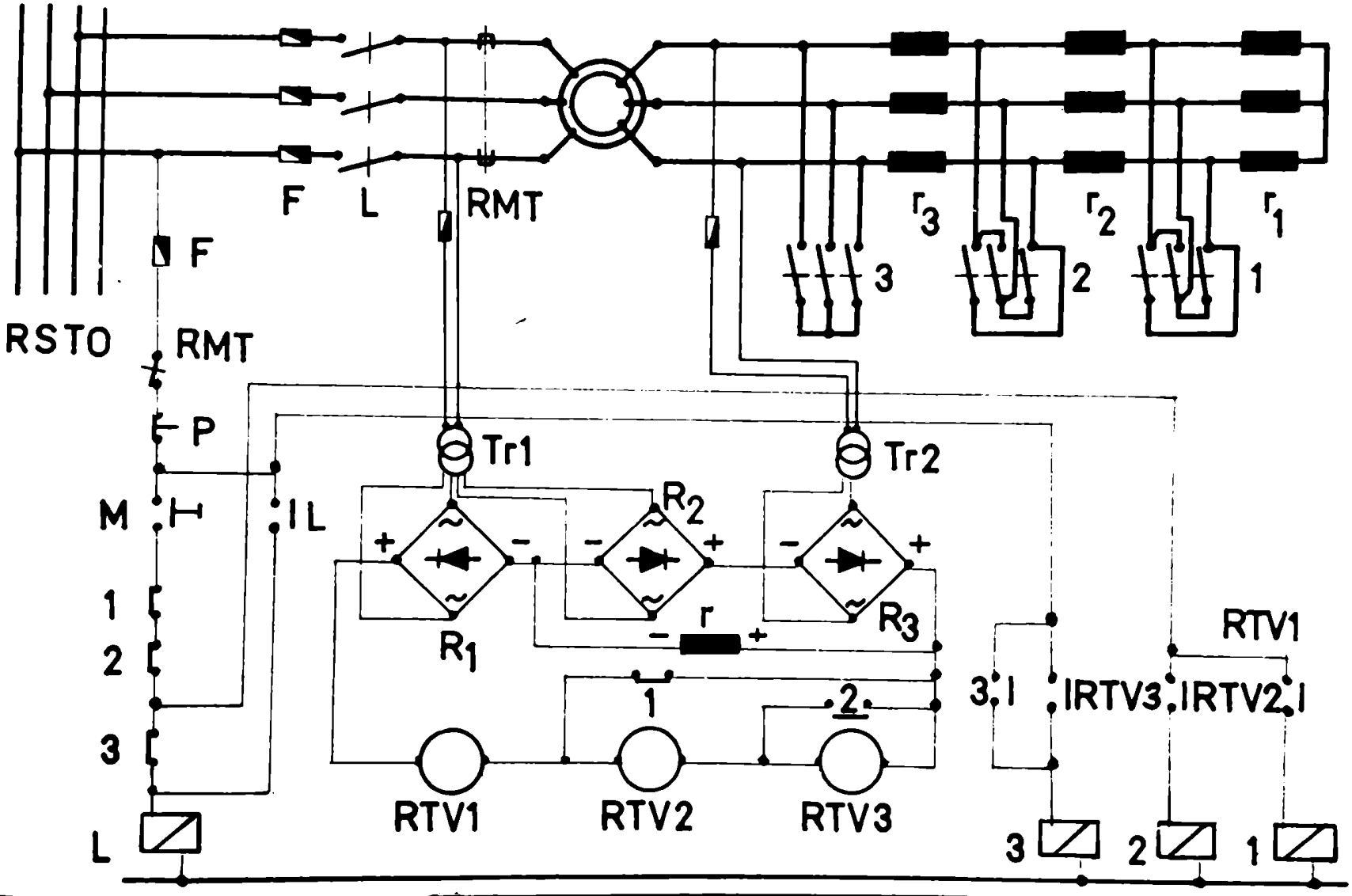
En el esquema tenemos un motor cuyo arranque, ya indicado, se realiza por eliminación de resistencias; en este caso tres escalones con sus tres contactores, numerados **1**, **2** y **3**, el circuito de maniobra y mando para la eliminación automática, consta de tres rectificadores, tres relés de aceleración **RTV1**, **RTV2** y **RTV3**; estos relés se alimentan con corriente continua, y los tres rectificadores citados antes se alimentan del secundario de dos transformadores de tensión **Tr1** y **Tr2**.

La función de los relés de tensión variable es la siguiente:

Dos transformadores monofásicos de tensión, conectados a la entrada o estator el uno y al rotor el otro, alimentan a tres rectificadores montados en circuito puente monofásico. El transformador **Tr1**, conectado al estator, tiene dos tomas a 220 y 380 V para conectar una u otra, según tensión de línea. El secundario tiene dos arrollamientos independientes que alimentan, respectivamente, a los rectificadores **R1** y **R2**, y el transformador **Tr2**, conectado al rotor, un secundario, que alimenta el tercer rectificador **R3**. Los rectificadores **R2** y **R3** están montados en serie y se oponen al **R1**, según se ve en el signo correspondiente; así, la suma de la tensión de los dos rectificadores **R2** y **R3** se opone a la del **R1** y las tensiones de salidas de los dos transformadores están calculadas para que, a rotor calado, la suma algebráica de las tres sea cero.

Cuando se arranca el motor, a medida que se acelera la tensión del rotor disminuye proporcionalmente con la velocidad del motor y llega a anularse cuando gira en sincronismo, mientras que la tensión del estator es constante; por ello la tensión del rectificador R_3 es variable, por ser él conectado con el rotor, mientras que la de los R_1 y R_2 es constante, por ser conectados al transformador del estator; luego la suma algebráica de las tres tensiones rectificadas es variable y depende de la tensión rotórica (es función del rotor), de su tensión y, por lo tanto, de su velocidad, y parte desde cero cuando el rotor está calado, hasta un valor máximo que coincide con motor en sincronismo. La caída de tensión en la resistencia de amortiguación **r** se compensa por el rectificador R_2.

Vista que la suma algebráica de tensiones varía, se aprovecha esta variación en los relés de aceleración graduados cada uno a distinta tensión, los que van conectando sucesivamente en función de ésta o, lo que es lo mismo, en función de la velocidad del motor y, por lo tanto, en función de la corriente. Resumiendo diremos que corriente, velocidad, tensión, suma algebráica de los rectificadores, tienen una relación de proporcionalidad aplicada a los relés de aceleración.


F
L
RMT
r3
r2
r1
3
2
1
F
RSTO
RMT
P
Tr1
Tr2
M
IL
R2
R1
R3
r
1
2
3
RTV1
RTV2
RTV3
L
3
2
1
RTV1
3
IRTV3
IRTV2
I

ARRANQUE POR VARIOS PROCEDIMIENTOS

La aplicación de los relés temporizadores es muy extensa. Se han visto varios arranques de motores por resistencias estatóricas y resistencias rotóricas, estrella triángulo, etc. En el presente ejercicio la aplicación del relé temporizador será de forma distinta, no para el arranque con fines de retrasar la entrada de contactores eliminadores de resistencias, sino como cambio del funcionamiento de dos motores en orden cíclico o no cíclico, depende de la necesidad del intervalo de tiempo del funcionamiento de un motor y otro, sean igual o desigual, como veremos en el diagrama de tiempos para los dos casos.

El esquema comprende dos motores, M_1 y M_2, los cuales no pueden funcionar al mismo tiempo, sino alternativamente. Cada motor posee un contactor de conexión a línea y se dispone de un relé temporizador, pudiendo ser del sistema electrónico o con un motor síncrono, con dos juegos de contactos conmutados, aunque sólo vamos a emplear uno. La puesta en marcha puede ser mediante un final de carrera, una membrana, un micro accionado por elementos mecánicos, boya, relé térmico, etc.

Funcionamiento de los dos motores:

Cuando el micro contacto **1** sea cerrado por cualquier procedimiento, la corriente recorre el siguiente circuito: desde la fase **T** pasa por el fusible de mando **FM**, por el contacto que ha cerrado **1**, relé de protección **Rt**, contacto cerrado C_1 del relé de tiempo, por la bobina **1** correspondiente al contactor del motor M_1 y cierra por el neutro; el motor M_1 se pone en marcha a su vez; el relé temporizador **t** se pone bajo tensión y, transcurrido el tiempo fijado, se abre el contacto c_1 cerrándose el c_2; al abrir el c_1 se para el motor M_1 y al cerrarse el c_2 se pone en marcha el motor M_2, según programación. Este ciclo puede repetirse a intervalos de tiempos iguales o desiguales en función de sus graduaciones.

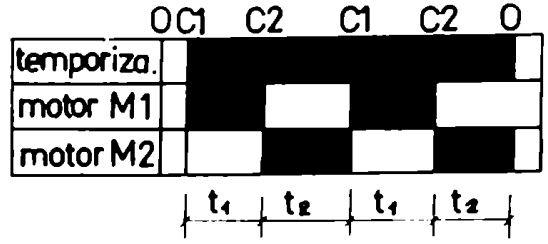


Diagrama de tiempos para $t_1 = t_2$

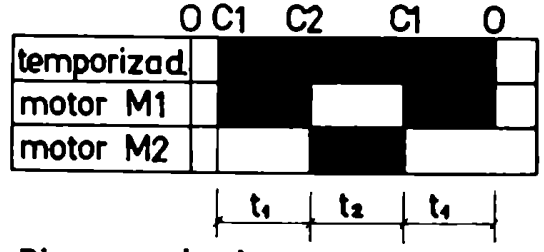
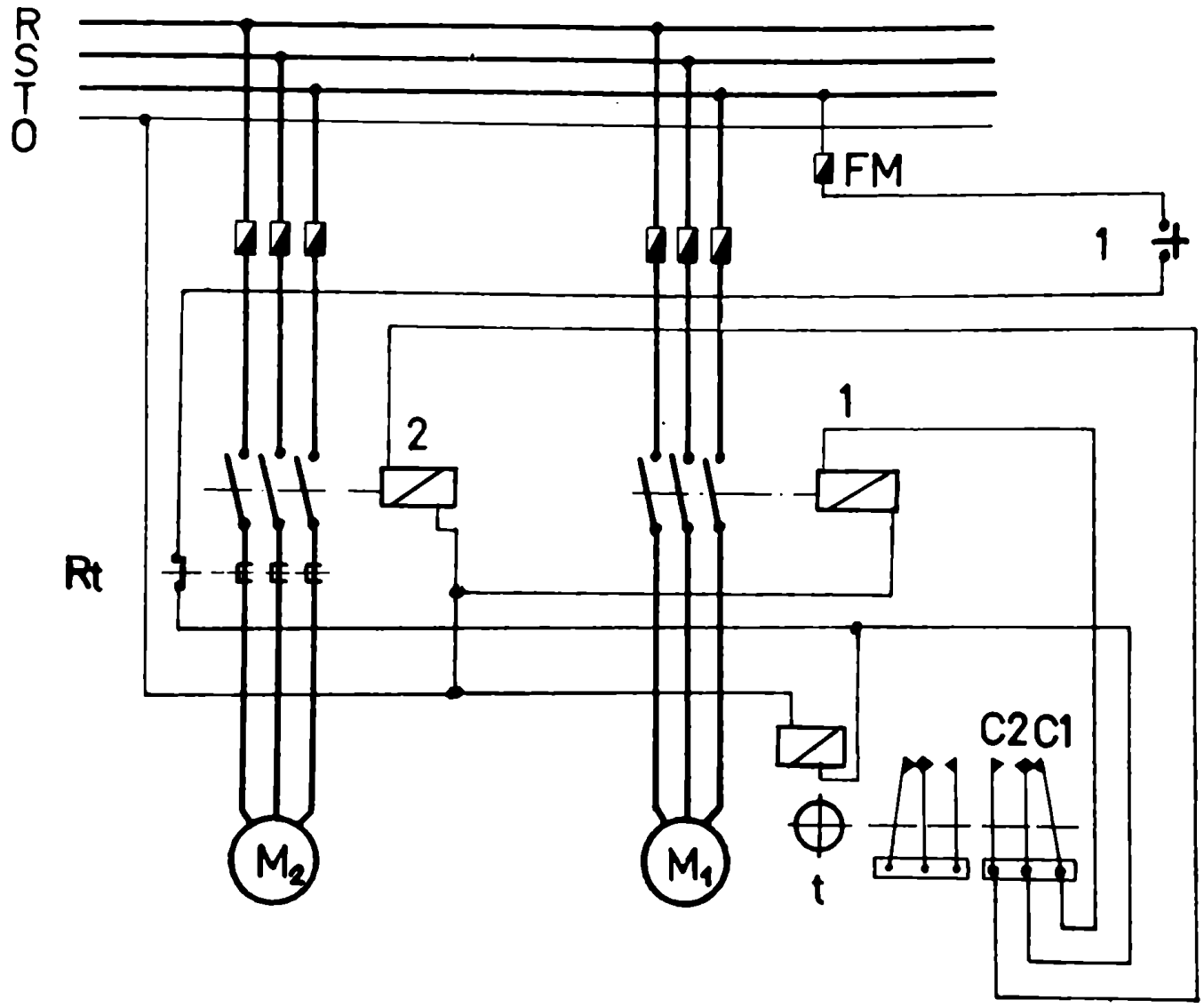


Diagrama de tiempos para $t_1 < t_2$

El primer diagrama de tiempos indica el funcionamiento alternativo de ambos motores; en el segundo diagrama, el tiempo que funciona el motor M_1 es menor que el del M_2, mientras que el relé temporizador en los dos diagramas queda conectado, hasta que ambos motores paran, pues uno u otro funciona continuamente, mientras que el contacto **1** siga cerrado.


R
S
T
O
FM
1
2
1
Rt
C2 C1
M_2
M_1
t

ARRANCADOR AUTOMATICO ROTORICO

Representamos un esquema en dos partes para el arranque de un motor de corriente alterna trifásica con rotor bobinado por resistencias rotóricas, eliminadas por relés temporizadores.

Se han visto algunos ejercicios tratando el mismo arranque; por ello, en este ejercicio se presenta en dos partes: el circuito principal de trabajo, que consta del juego de fusibles **F**, el contactor propiamente dicho, el relé **Rt** de protección, el motor **M**, tres juegos o escalones de resistencias r_1, r_2 y r_3 y tres contactores eliminadores de los escalones de resistencias de arranque. El segundo circuito en representación lineal es el esquema de mando, fácil de seguir, como se va a ver, cuyos componentes son: fusible de mando **FM**; contacto del relé de sobreintensidad **Rt**; pulsadores de paro **P** y marcha **M**; dos contactos auxiliares C_1 de permanencia del contactor C_1 y el C_2 de alimentación del relé R_1; tres bobinas correspondientes a los tres contactores enunciados arriba; tres relés temporizadores, y tres contactos, **X, Y, Z**, temporizados por sus respectivos relés.

En este ejercicio no se describe el funcionamiento; se deja para que el lector lo haga por sí mismo, teniendo en cuenta que es similar a otros descritos en esta obra.

AVERIAS MAS CORRIENTES QUE PUEDEN AFECTAR AL FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR

Averías de tipo mecánico:

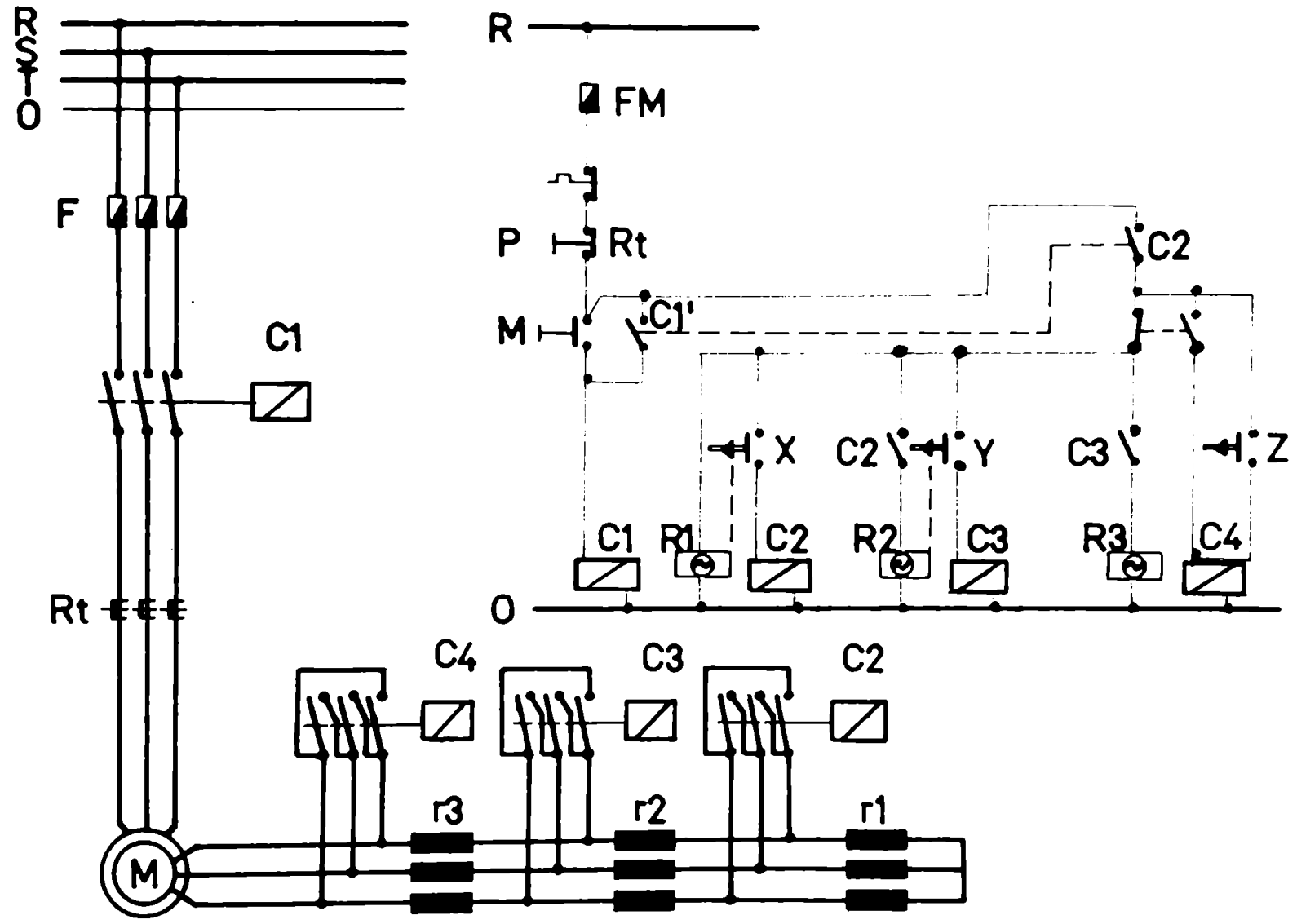
— Desgaste natural o rotura de uno o dos rodamientos.
— Roce del rotor con el estator.
— Falta de atención en el engrase del motor.
— Eje flexado o mal embridado con su mangón, piñón, polea, etc.

Averías de tipo eléctrico:

— Por sobrecarga del motor, accidental o por insuficiente potencia.
— Por exceso de tensión en líneas o por baja tensión.
— Por motor mal calculado.
— Por fallo de una fase antes de llegar al motor.
— Por cortocircuito entre espiras.
— Por rotura de varillas o conductores en el rotor.
— Por falsos contactos en anillos, escobillas y resistencias.

La mayor parte de estas posibles averías quedan protegidas por los relés de sobreintensidad y algunas por los fusibles cortacircuitos.

ARRANCADOR AUTOMATICO ROTORICO



ARRANQUE DE UN MOTOR POR AUTOTRANSFORMADOR

Para conseguir el arranque de un motor asincrónico con rotor en jaula de ardilla —y sin que éste absorba una corriente y par excesivos— se ha explicado en otros ejercicios la conveniencia de aplicar aparatos que limiten la corriente de arranque, como son los arrancadores estrella triángulo. También se habló de emplear resistencias estatóricas que limiten la tensión y, en consecuencia, la corriente de arranque.

En el presente ejercicio representamos el esquema principal de carga de un arrancador de motor asincrónico con rotor en jaula de ardilla por autotransformador y su circuito auxiliar de mando con la relación de elementos que en ellos intervienen. Corresponden estos esquemas a los apuntes de automatismo industrial de la firma Starkstrom.

El autotransformador puede disponer de varias tomas o saltos de tensión, las cuales se van eliminando a medida que el motor va acelerándose, hasta que en la última el motor queda sometido a la tensión de red, quedando el autotransformador fuera de servicio.

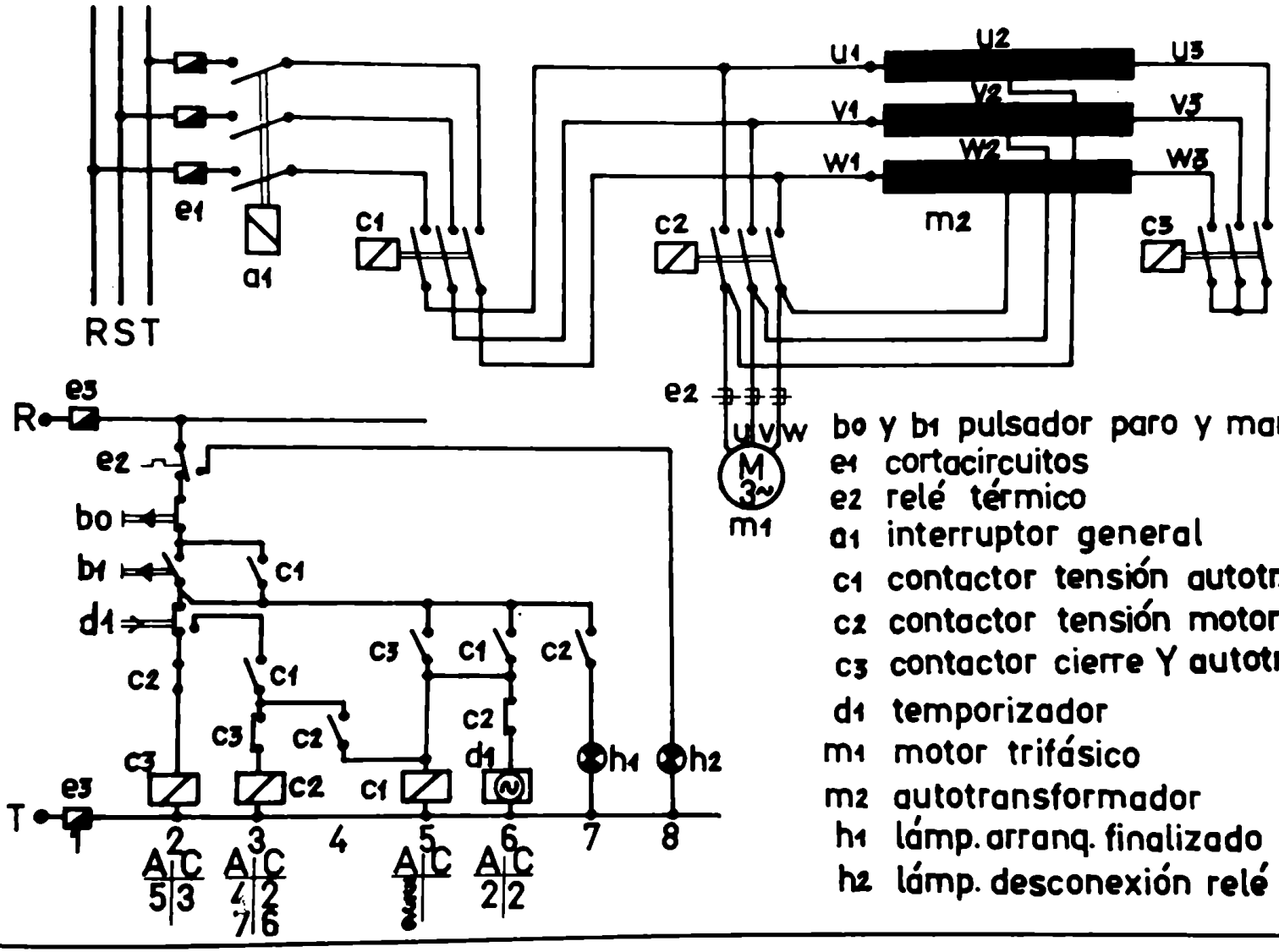
Funcionamiento:

Para la puesta en marcha de este motor veamos en los esquemas qué ocurre.

Al oprimir el botón de puesta en marcha b_1, esquema auxiliar de mando, recibe corriente la bobina c_3 y se excita; el contactor c_3 entra poniendo el autotransformador en estrella; el juego de contactos c_3 se cierra y alimenta el temporizador d_1 y el contactor c_1, que deja bajo tensión al autotransformador; el motor queda sometido a una tensión fraccionada a través de las bornas U_2, V_2, W_2. Cuando entró el contactor c_1 cerró el juego de contactos c_1 en derivación con el pulsador b_1 para mantener la alimentación.

En estas condiciones el motor arranca con tensión reducida y, por lo tanto, con corriente menor, y cuando el tiempo prefijado del temporizador es agotado abre la alimentación del contactor c_3, éste se abre y cierra el juego de contactos c_3 que alimenta al contactor c_2, que es el que conecta el motor directamente a línea, mientras que el autotransformador queda fuera de servicio al abrirse el contactor de estrella c_3. Cuando entró el contactor c_2 cerró los contactos c_2 en serie con el piloto de señalización h_1, indicando éste que el arranque queda terminado; el piloto h_2 indicará cuándo se para el motor a consecuencia de una sobreintensidad de corriente.

ARRANQUE DE UN MOTOR POR AUTOTRANSFORMADOR



bo y b1 pulsador paro y mar.
e1 cortacircuitos
e2 relé térmico
a1 interruptor general
c1 contactor tensión autotr.
c2 contactor tensión motor
c3 contactor cierre Y autotr.
d1 temporizador
m1 motor trifásico
m2 autotransformador
h1 lámp. arranq. finalizado
h2 lámp. desconexión relé

ARRANCADOR INVERSOR DE MOTOR POR AUTOTRANSFORMADOR

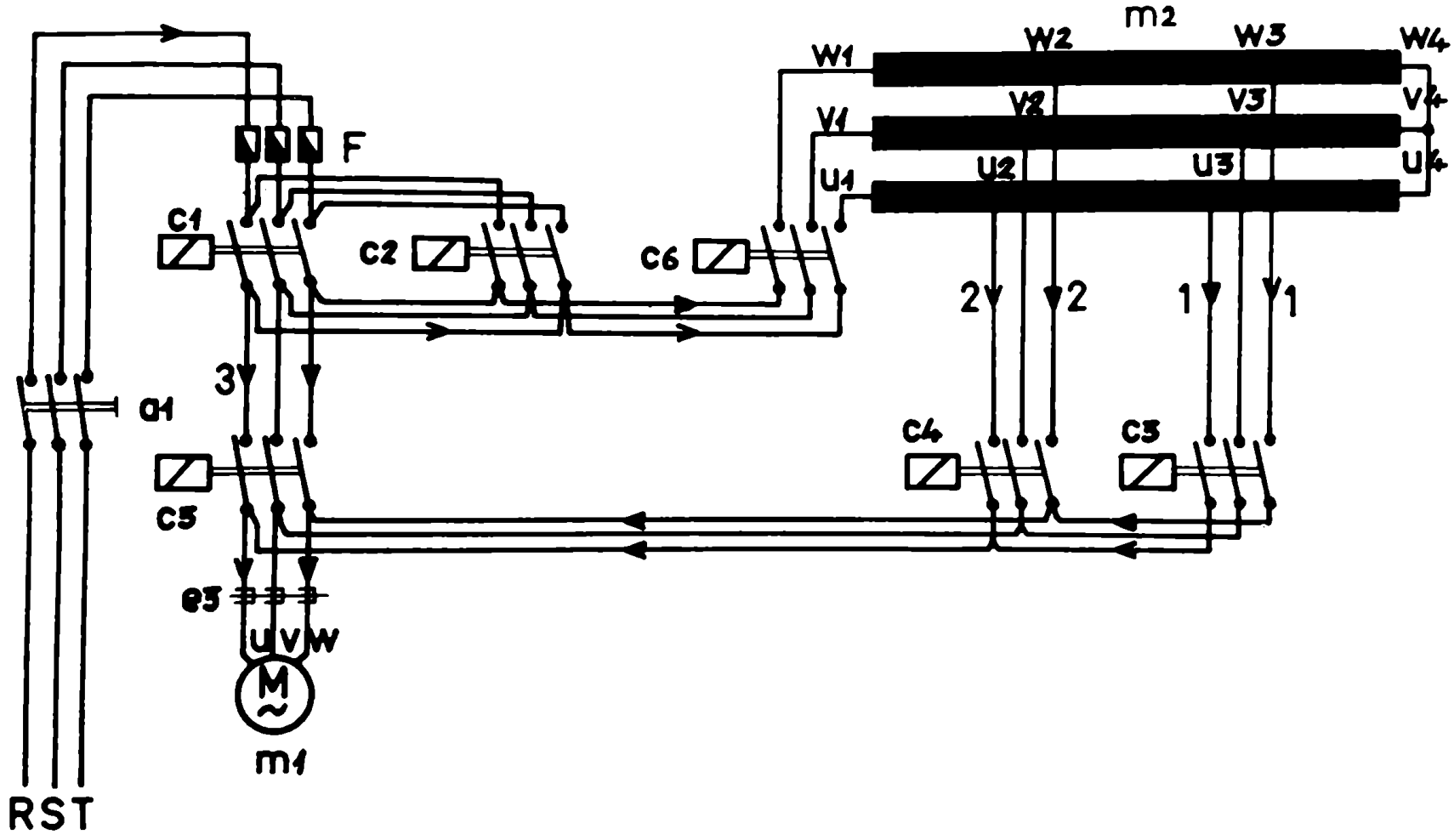
En el esquema del ejercicio anterior se representó los circuitos de mando y de potencia o trabajo de un arrancador de motor por autotransformador con una sola toma de corriente. En el presente se consideran dos tomas intermedias y, por lo tanto, un contactor más, pero se elimina el de estrella; por otra parte, se dota a este motor de la ventaja de poder funcionar en ambos sentidos, al dotarle de un juego de contactores de inversión.

Una ventaja en el arranque por autotransformador es que la potencia absorbida es menor que por arranque con resistencias, al no haber caída de tensión, sino transformación de ella.

Los elementos que componen el esquema de trabajo o de potencia son:

- a_1 es el interruptor general de línea.
- **F** juego de fusibles calibrados según potencia del motor.
- C_1 contactor para el giro a derechas.
- C_2 contactor para el giro a izquierdas.
- C_6 contactor que alimenta al transformador.
- C_3 contactor para el primer punto de tensión.
- C_4 contactor para el segundo punto de tensión.
- C_5 contactor que deja el motor a plena tensión de línea.
- e_3 relé térmico de protección.
- m_1 motor trifásico asincrónico.
- m_2 autotransformador conexión estrella.

Tomando una fase, por ejemplo, la **R**, al conectar el motor para que gire a derechas, la corriente circulará —según indican las flechas— primeramente por el primer punto de tensión **(1)**, luego por el segundo punto de tensión **(2)** y por último pasará directa por **(3)**. Al conectar el contactor c_2 para que gire a izquierdas, la corriente de la misma fase **R** circulará por las flechas llenas: primero, por el punto **1**; luego, por el punto **2**, y, finalmente, por el **3**, directamente a través del contactor C_5.


m2
W1
W2
W3
W4
V1
V2
V3
V4
U1
U2
U3
U4
F
C1
C2
C6
2
2
1
1
3
Q1
C4
C3
C5
e5
U V W
M
m1
RST

CIRCUITO DE MANDO ARRANCADOR INVERSOR POR AUTOTRANSFORMADOR

Los elementos precisos para el arrancador inversor por autotransformación se representan en el circuito de mando de este ejercicio, y son:

- e_2 cortacircuitos de maniobra.
- e_3 relé térmico de protección.
- b_0 pulsador de parada.
- b_1 pulsador de marchas a derechas.
- b_2 pulsador de marcha a izquierdas.
- d_1 programador a motor síncrono y embrague electromagnético.
- c_1 contactor giro a derechas y contactos auxiliares.
- c_2 contactor giro a izquierdas y contactos auxiliares.
- c_3 contactor para el primer punto de tensión y contactos auxiliares.
- c_4 contactor para el segundo punto de tensión y contactos auxiliares.
- c_5 contactor para plena tensión del motor y contactos auxiliares.
- c_6 contactor de tensión para el autotransformador.
- h_0 lámpara indicadora desconexión relé térmico.
- h_1 lámpara indicadora marcha a derecha.
- h_2 lámpara indicadora marcha a izquierda.

El programador a motor síncrono d_1, con su embrague electromagnético, dispone de dos juegos de contactos d_1, 1-2-3, y d_1, 3-4-5, cuya misión es abrir y cerrar los contactos correspondientes para ir pasando de uno a otro punto de salida en el autotransformador. Este cambio se realiza al finalizar los períodos de tiempos programados, en este caso dos.

El orden de trabajo de los contactores es el siguiente:

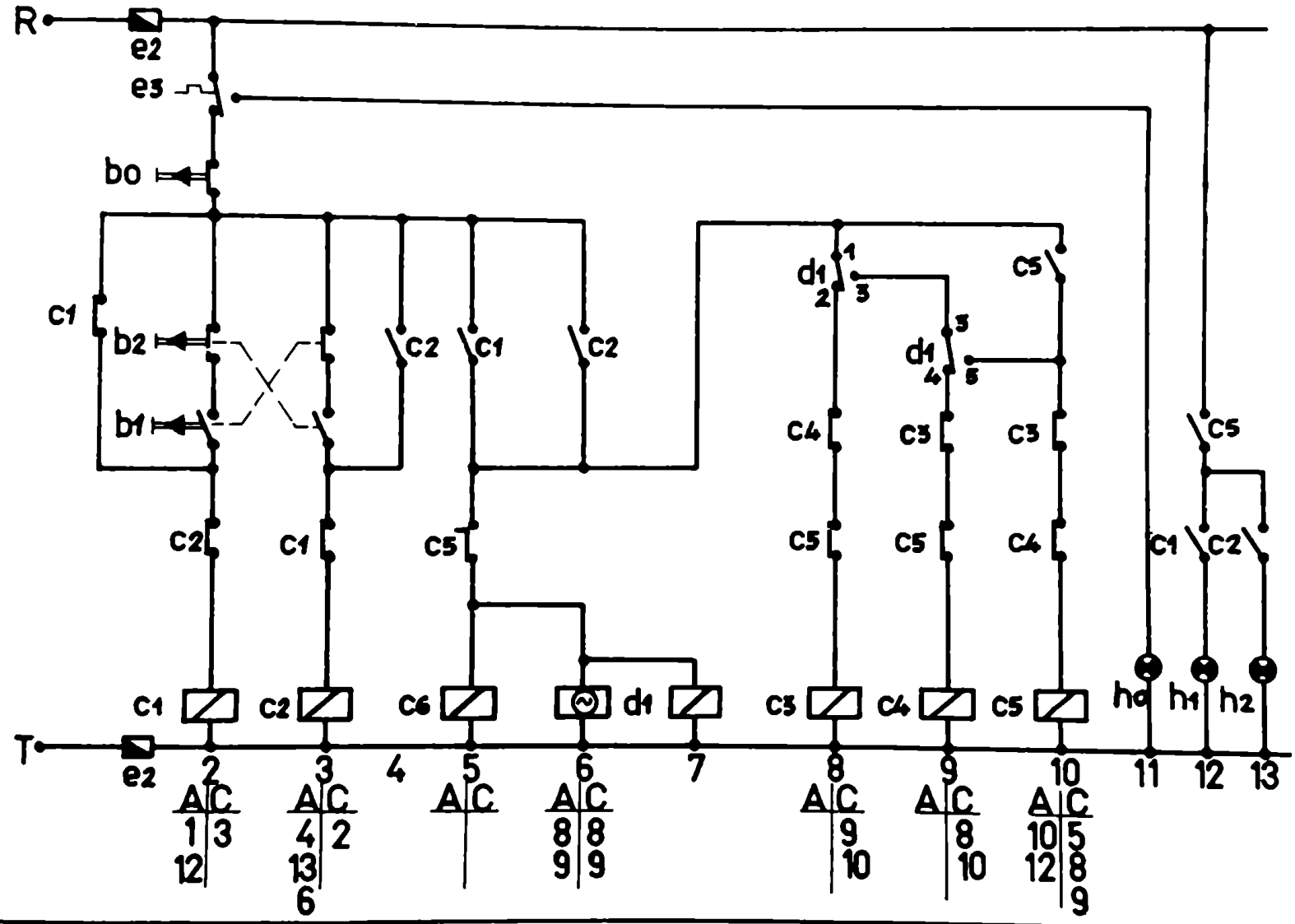
Primero. — Entra el c_1 o el c_2, que seleccionan el sentido de giro.

Segundo. — Entra el contactor c_6, que alimenta al autotransformador.

Tercero. — Entra la alimentación del programador d_1 y embrague.

Cuarto. — Entra el contactor c_3, primer punto de tensión.

De todos los reseñados anteriormente puede decirse que conectan automáticamente al pulsar en b_1 o en b_2.
Ahora, finalizado el tiempo programado, se desconecta el c_3 y conecta el c_4, segundo punto de tensión, y finalizado el siguiente tiempo programado se desconecta el c_4 y conecta el c_5, dejando el motor a la tensión de la red.


R
e2
e3
bo
c1
b2
b1
c2
c1
c2
d1
c5
c4
c3
c3
c5
c5
c4
c2
c1
c5
c1
c2
c1
c2
c6
d1
c3
c4
c5
ho
h1
h2
T
e2
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
A C
1 3
12
A C
4 2
13
6
A C
A C
8 8
9 9
A C
9
10
A C
8
10
A C
10 5
12 8
9

CAPITULO IV

Este capítulo trata de motores de dos, tres y cuatro velocidades conseguidas en un mismo motor mediante la conexión Dahlander y un arrollamiento o dos arrollammientos independientes. Para tres velocidades se emplean un arrollamiento independiente y otro con conexión Dahlander, para cuatro velocidades dos arrollamientos, cada uno con dicha conexión.

Consta este capítulo de trece esquemas, según relación siguiente:

Esquema núm. 62. — Conmutador de polos de dos velocidades.
Esquema núm. 63. — Esquema de dos velocidades.
Esquema núm. 64. — Arrancador de dos velocidades, conexión Dahlander.
Esquema núm. 65. — Conmutador de polos Dahlander.
Esquema núm. 66. — Esquema de mando, conmutador de polos Dahlander.
Esquema núm. 67. — Motor de dos velocidades, conexión Dahlander.
Esquema núm. 68. — Motor de dos velocidades y dos arrollamientos.
Esquema núm. 69. — Esquema de trabajo de un motor de tres velocidades.
Esquema núm. 70. — Esquemas de circuito de mando de un motor con tres velocidades.
Esquema núm. 71. — Ciclo automático de un motor de tres velocidades. (Potencia).
Esquema núm. 72. — Ciclo automático de un motor de tres velocidades. (Mando).
Esquema núm. 73. — Arrancador inversor de un motor con cuatro velocidades.
Esquema núm. 74. — Esquemas de mando arrancador inversor de un motor de cuatro velocidades.

Sabemos que la velocidad de un motor trifásico asincrónico se calcula con la siguiente fórmula: $\mathbf{n_s} = \frac{60\ \mathbf{f}}{\mathbf{p}}$, en la que **f** es la frecuencia de la red en períodos por segundos (Hz), **P** son los pares de polos correspondientes al estator y $\mathbf{n_s}$ es la velocidad del campo magnético giratorio creado por el sistema de corrientes trifásicas en el estator o inductor.

La velocidad real del motor es $\mathbf{n} = \mathbf{n_s} - \mathbf{a}$, siendo **a** el deslizamiento o diferencia de velocidad entre el campo magnético y la del rotor; así, un motor con 3.000 r.p.m. en su campo magnético y con $\mathbf{S} = 6$ por 100 de deslizamiento, girará el rotor a una velocidad real de $\mathbf{n} = \mathbf{n_s} - \mathbf{a} = 3.000 - \frac{3.000 \times 6}{100} = 2.820$ r.p.m. Esta velocidad no se puede variar porque la frecuencia **f** es constante o sensiblemente constante; una forma de re-

gular la velocidad sería intercalar resistencias en el inducido, aunque esto no resulta práctico.

La solución se encuentra en la variación del número de polos **2p**, o, mejor dicho, del de pares de polos **p**, así obtenemos motores con dos, tres o cuatro velocidades bien determinadas. Si en un motor se colocan dos arrollamientos independientes, cada uno bobinado con diferente número de polos, obtendremos una velocidad en cada uno de ellos; ahora bien, esto puede conseguirse con un solo arrollamiento dispuesto para cambiar las conexiones en la caja de bornas, resultando dos velocidades en la relación **1:2**,. que es la más corriente, llamada conexión Dahlander. Para obtener tres velocidades es necesario dos arrollamientos independientes, uno en conexión Dahlander para las dos velocidades, por ejemplo, a 750 y 1.500 r.p.m., y el otro para 1.000 r.p.m. o bien para 3.000 r.p.m. (ver esquemas en el capítulo IV, números 69 y 71, referente al circuito de trabajo, y en los números 70 y 72, a los circuitos de mando).

Los motores de cuatro velocidades constan de dos devanados independientes entre sí, y cada uno con la conexión Dahlander (esquemas números 73 y 74, en los que vemos el circuito de trabajo y el de mando).

Dado que la descripción y funcionamiento de los distintos esquemas es bastante amplia y práctica dejamos esta introducción finalizadas.

CONMUTADOR DE POLOS DOS VELOCIDADES

Si en un campo magnético giratorio se colocan varias espiras colocadas sobre un eje que gira estando éstas cerradas, es decir, en cortocircuito, por inducción del flujo que los corta se inducen corrientes eléctricas y estas espiras tienden a cortar el máximo del flujo inductor; pero como este flujo es giratorio las espiras siguen tres él mientras haya campo magnético giratorio; ahora bien, la velocidad de las espiras en movimiento es menor que la del campo, pues si fuese igual no habría variación de flujo y tampoco movimiento al no haber corriente inducida en las espiras que forman un rotor y, por lo tanto, tenemos un motor de inducción asincrónico, es decir, no sincrónico, en el que n_1 es la velocidad del campo giratorio y n_2 la del inducido o rotor, verificándose $n_1 > n_2$; de aquí el nombre asincrónico. La velocidad del campo magnético giratorio o inductor se relaciona con la fórmula siguiente: $n = \frac{60 \times f}{p}$, siendo **n** la velocidad en revoluciones por minuto (r.p.m.), **f** la frecuencia de la corriente en períodos segundo (en España es 50 Hz), y **p** el número de pares de polos, así formamos la tabla siguiente con la fórmula $n = \frac{60\ f}{p} = \frac{60 \times 50}{p} = \frac{3.000}{p}$ r.p.m..

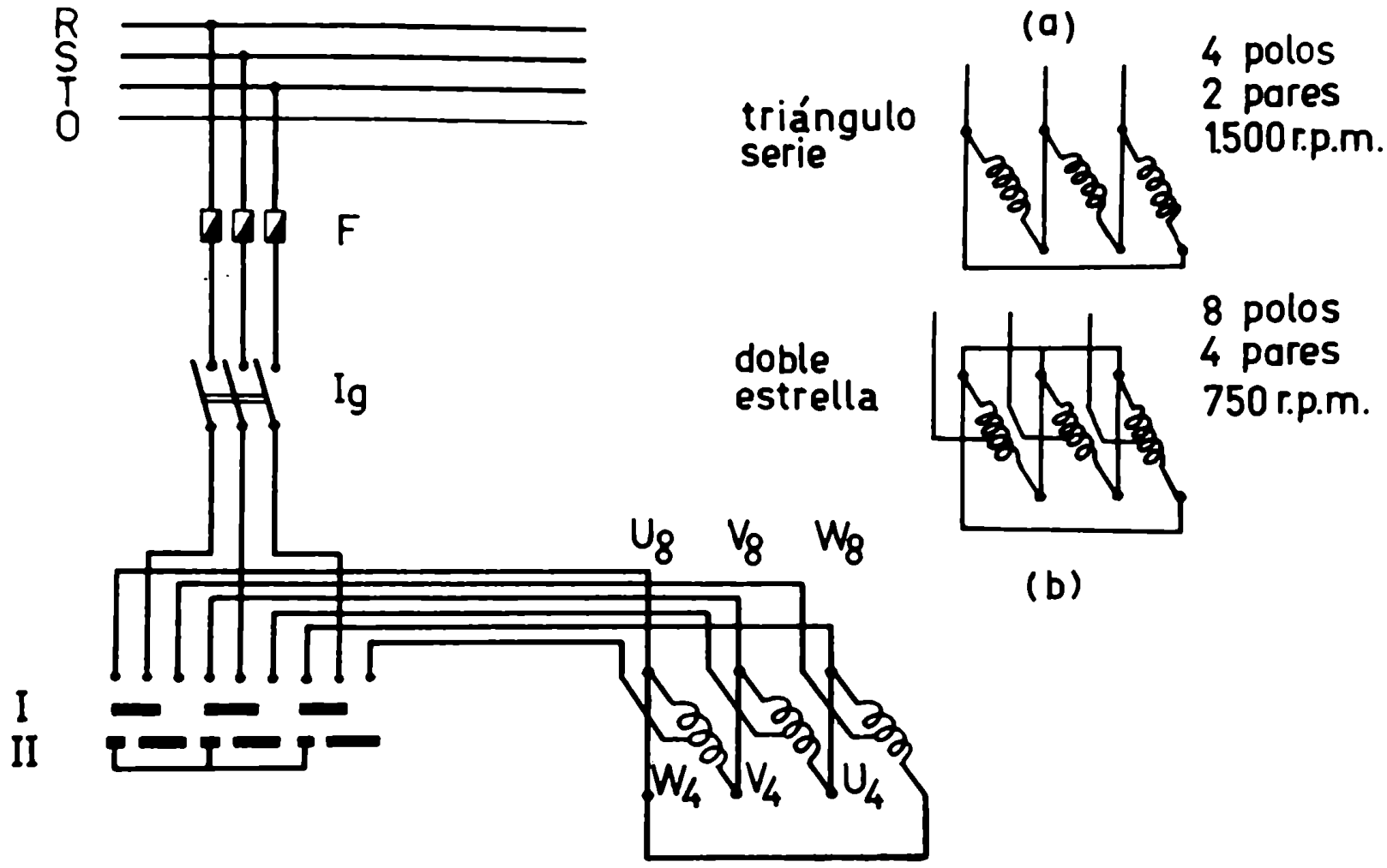
p (pares de polos)	1	2	3	4	5	6
n (r. p. m.)	3.000	1.500	1.000	750	600	500

Como se ha dicho $n_1 > n_2$, siendo n_1 la velocidad del campo magnético giratorio de 3.000, 1.500, 1.000, etc., r.p.m. y n_2 las del rotor, éstas suelen ser del 4 al 6 por 100 menores, luego la velocidad real del motor será para un 5 por 100 de los deslizamientos de

n_1 del campo	3.000	1.500	1.000	750	600	500
n_2 del rotor	2.850	1.425	950	712	570	475

En el esquema del presente ejercicio tenemos un motor, el., que puede funcionar a dos de las velocidades citadas, por ejemplo, a 750 y 1.500 r.p.m. Empleando el conmutador de polos, en la posición **I**, el devanado queda todo él en serie, según (**a**), con cuatro polos, dos pares a 1.500 r.p.m. En la posición **II** el devanado es partido, quedando en dos estrellas (**b**), así que las velocidades quedan: 1.500/750 r.p.m., los polos 4/8 polos, montaje triángulo doble estrella $\Delta/\lambda\lambda$. No en todos los motores puede conseguirse, pues deben tener las secciones de bobinas múltiples de dos. El número de bornas que deben salir del motor es de nueve para conectar al conmutador rotativo o bien haciendo puentes en la caja bornas.

CONMUTADOR DE POLOS DOS VELOCIDADES



montaje Δ/λλ 4/8 polos motor

ESQUEMA DE DOS VELOCIDADES

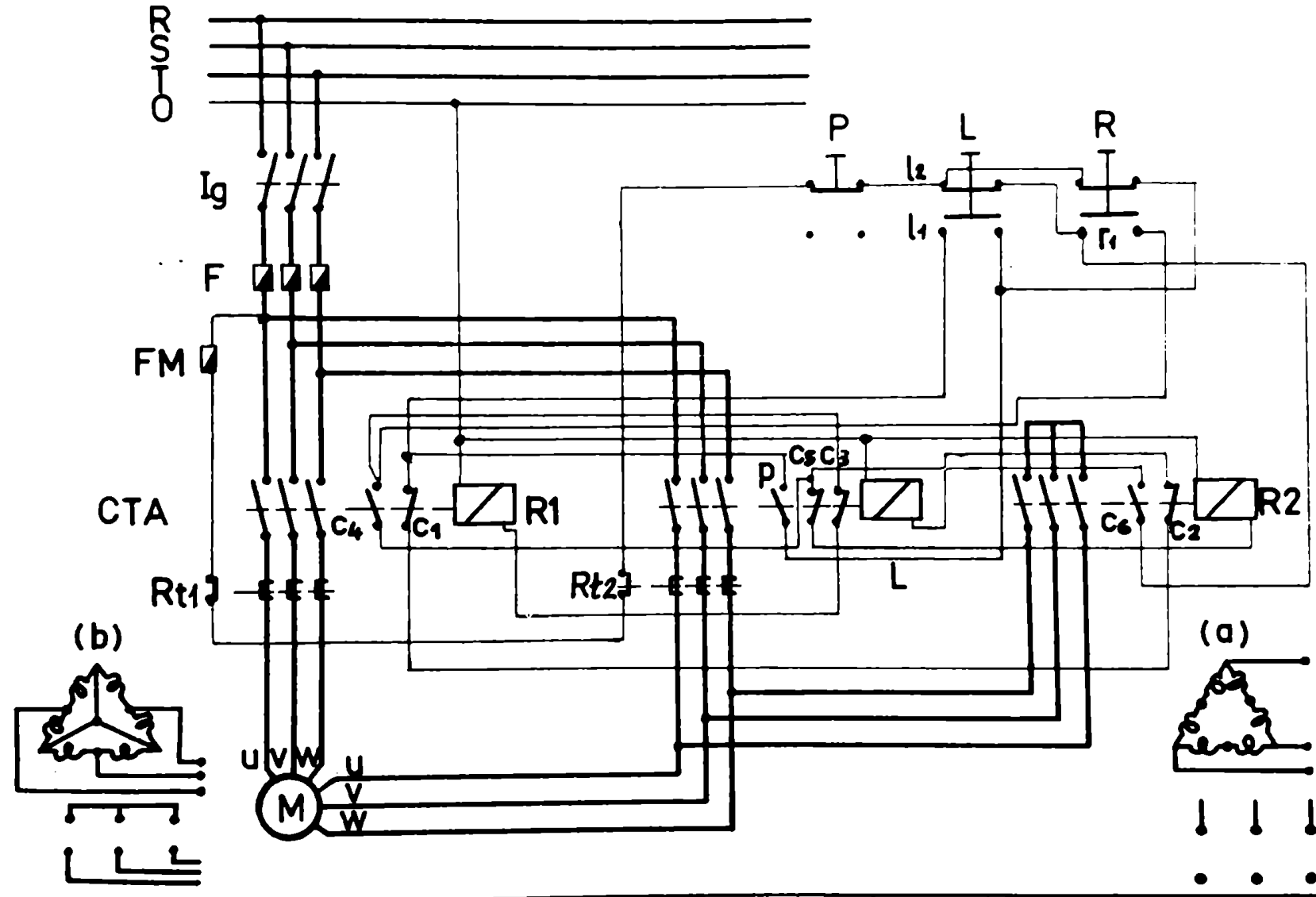
Para obtener dos velocidades en un motor por el procedimiento de la conmutación de polos es necesario que el motor tenga rotor en cortocircuito. Puede disponerse de dos velocidades en motores con dos devanados o arrollamientos separados uno para cada velocidad y también en los que, poseyendo un devanado de velocidad, esté en relación de **1:2**. Para un solo devanado la conexión a efectuar es de Dahlander. Con los cambios de conexión se obtienen cuatro u ocho polos con 1.500 r.p.m. y 750 r.p.m., respectivamente. En el ejercicio anterior vimos que se consigue con un conmutador rotativo de polos el que nos conmuta una u otra velocidad. En el esquema del presente ejercicio se trata igualmente de un motor de dos velocidades; pero éste, con arranque automático por pulsadores a distancia, es parecido al estrella-triángulo y consta de tres contactores, un pulsador simple común de paro y dos pulsadores dobles de marcha, lenta y rápida, con enclavamiento en pulsadores.

Descripción y funcionamiento

El devanado es único, por lo que cada fase está dividida en dos (no cortada) por una conexión que se saca a la caja de bornas en la que hay seis bornas unidas, de forma que en una posición la corriente entra dividiéndose en dos fases y las secciones de cada fase unidas en serie formando el triángulo serie para la velocidad menor; en otra posición la corriente entra por el centro de cada fase en paralelo cada mitad formando una estrella doble para la mayor velocidad. Si pulsamos el botón **L** obtenemos la velocidad menor, la corriente circula de fase **R** por fusible de mando **FM**, relé **Rt**1 y **Rt**2, pulsador de paro **P**, pulsador **R**, pulsador accionado **L** por l_1, contacto auxiliar C_1 del contactor R_1, contacto auxiliar C_2 del contactor R_2 y bobina del contactor de velocidad lenta o menor a neutro. La permanencia de este contactor la efectúa por el contacto auxiliar **p**; como se ve, sólo entran un contactor, el **L**; el devanado queda conectado según detalle (**a**). Para la mayor velocidad una vez parado el motor, se pulsa el botón **R** y la corriente llega como antes, pasando ahora por el pulsador **L**, por l_2, por r_1, contacto C_3 y bobina R_1; ésta entra y cierra C_4, por donde pasa la corriente, y por C_5 a la bobina R_2, que la pone en derivación con la R_1 y ambos contactores en servicio, uno forma la estrella doble, el R_2, y el otro conecta a línea, quedando el devanado según detalle (**b**). El mantenimiento de bobinas se efectúa ahora por el contacto auxiliar C_6.

Tanto en una como en otra velocidad, los contactores fuera de servicio en ese momento quedan enclavados de forma que si se pulsa una velocidad, pulsando la otra no entran sus contactores, por pasar su circuito de mando por contactos auxiliares abiertos pertenecientes a los que trabajan, y no cierran hasta que los contactores en servicio abran parando el motor.

ESQUEMA DE DOS VELOCIDADES



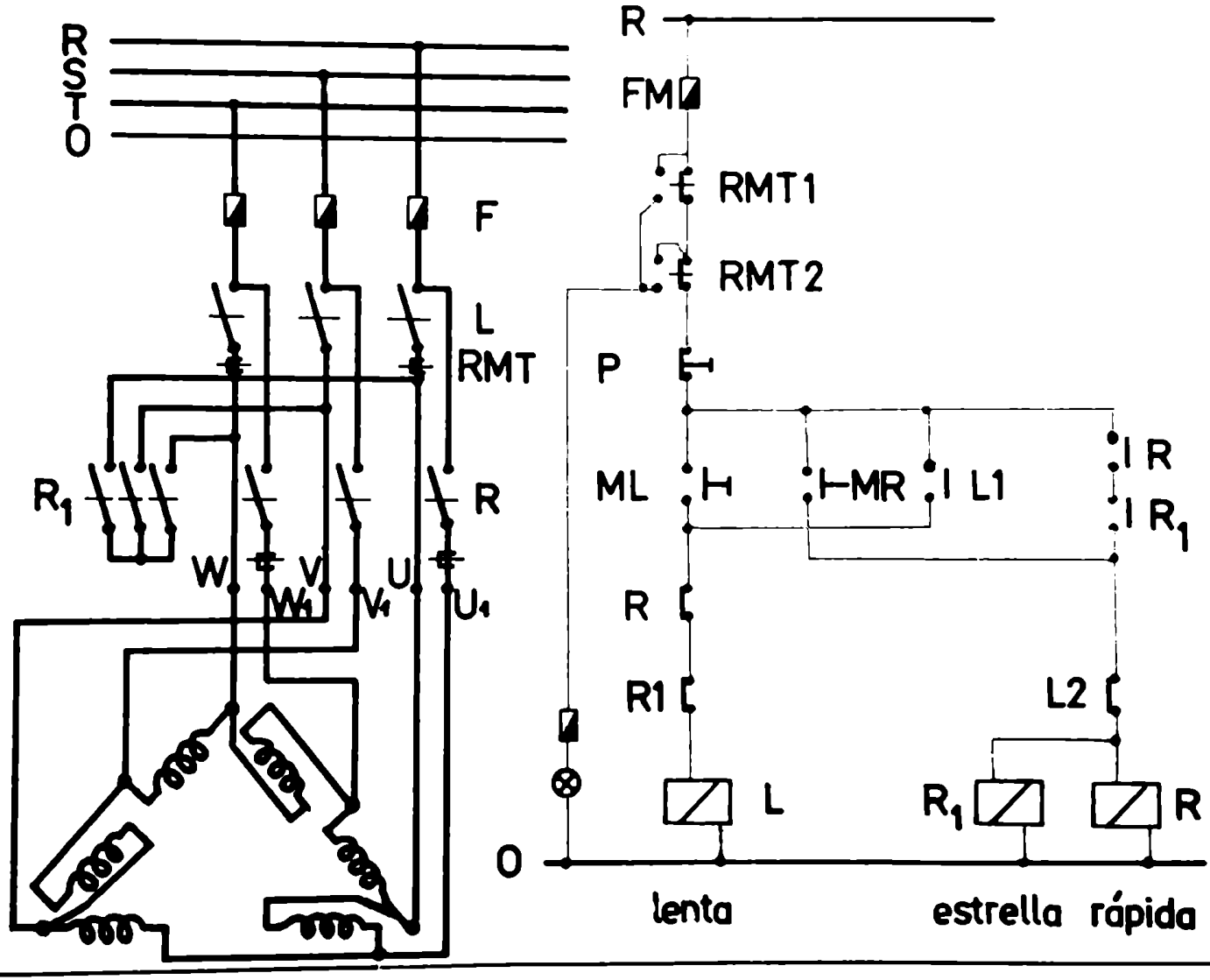
ARRANCADOR DOS VELOCIDADES CONEXION DAHLANDER

El esquema correspondiente a este ejercicio es un arrancador de dos velocidades en conexión Dahlander para motores en cortocircuito y un solo devanado de polos consecuentes. Este conjunto de tres contactores con sus relés de protección y accesorios los presenta la firma Agut en armarios de ejecución P-30 protector, en armario P-43 cerrado, y P-54 en armario estanco, su funcionamiento es el siguiente: se pulsa el botón **ML** de marcha lenta y el circuito de mando se establece de fase **R**, fusible de mando, relés magnetotérmicos **RMT**1 y **RMT**2, pulsador de paro **P**, pulsador actuado de marcha lenta **ML**, contacto auxiliar **R** del contactor de rápida **R**, contacto auxiliar $\mathbf{R_1}$ del contactor en doble estrella $\mathbf{R_1}$ para la marcha rápida, bobina **L** y neutro, por lo que el motor queda en triángulo y sólo conectado el contactor **L**; su realimentación la realiza por el contacto de permanencia $\mathbf{L_1}$. Durante el funcionamiento de esta velocidad, la más lenta, no puede conectarse el motor a la otra velocidad aunque se pulsara el botón **MR**, pues un circuito de mando está abierto en el contacto auxiliar $\mathbf{L_2}$ correspondiente al contactor **L**, y no se cierra si no se para la marcha lenta primero, pues para cerrarse $\mathbf{L_2}$ tiene que abrirse el contactor **L** y parar el motor. Con motor parado o bien sin llegar a pararse aprovechando la inercia que lleva, puede conectarse a la velocidad mayor una vez desconectado de la menor, pero en este caso debe reunir la condición de que ambas velocidades tienen el mismo sentido de giro.

Para la marcha rápida o de mayor velocidad se pulsa el botón **MR** y el circuito de mando se establece por fase **R**, fusible de mando, relés magnetotérmicos $\mathbf{RMT_1}$ y $\mathbf{RMT_2}$, pulsador de paro **P**, pulsador accionado **MR**, contacto auxiliar $\mathbf{L_2}$ correspondiente al contactor de velocidad menor **L** y las dos bobinas en paralelo de los dos contactores de velocidad rápida, el **R** y $\mathbf{R_1}$, saliendo al neutro. La realimentación se efectúa por los dos contactos auxiliares de los dos contactores **R** y $\mathbf{R_1}$ cerrados al excitar las dos bobinas. El contactor $\mathbf{R_1}$ cerró en punto de estrella, en paralelo, y el contactor **R** conectó línea al bobinado por el punto medio de cada fase invirtiendo el sentido de la corriente en cada media bobina, por lo que el número de polos se reduce a la mitad y la velocidad se multiplica por dos.

Este sistema de obtener dos velocidades en un solo arrollamiento de bobinado suele adaptarse como arranque del mismo motor primero a la velocidad menor, y montando un temporizador pasará a la velocidad mayor una vez transcurrido el tiempo de arranque del primero y conmutar el arranque del segundo. Supongamos un motor de 100 A de intensidad a 380 v de 55 CV con relé de protección magnetotérmico; corresponde elegir: contactores **GR**, calibre **5**, relé **RMT**-125.

ARRANCADOR DOS VELOCIDADES CONEXION DAHLANDER



CONMUTADOR DE POLOS DAHLANDER

Hay aplicaciones y necesidades en industrias y en máquinas herramientas en que en una misma máquina se precisan dos velocidades aun en un mismo motor, y todavía más. Tres y cuatro velocidades pueden obtenerse según la conexión y el número de arrollamientos que el motor tenga. Por ello, con un solo arrollamiento podrá tener dos velocidades; también las tendrá disponiendo de dos arrollamientos, uno para cada una. Para tres velocidades se precisan dos arrollamientos, uno en conexión Dahlander para dos y el otro para la tercera; para cuatro velocidades puede disponerse de dos arrollamientos con dos conexiones Dahlander, es decir, el primer arrollamiento Dahlander dará la primera y segunda velocidad y el segundo arrollamiento Dahlander dará la tercera y cuarta velocidad.

El motor da una velocidad en el campo magnético giratorio de $n_1 = \frac{60\ f}{P} = \frac{60 \times 50}{P} = \frac{3.000}{P}$ r.p.m. El rotor como no llega al sincronismo con el estator, tiene un deslizamiento **S**; verificándose $n_1 > n_2$ y **S** fijándolo en el 6 por 100 y $p = 4$ pares de polos, tenemos

$$n_1 = \frac{3.000}{4} = 750 \text{ r.p.m. y } n_2 = n_1 - 6 \text{ por } 100,$$

$$n_1 = 750 - \frac{6 \times 750}{100} = 605 \text{ r.p.m. en el rotor.}$$

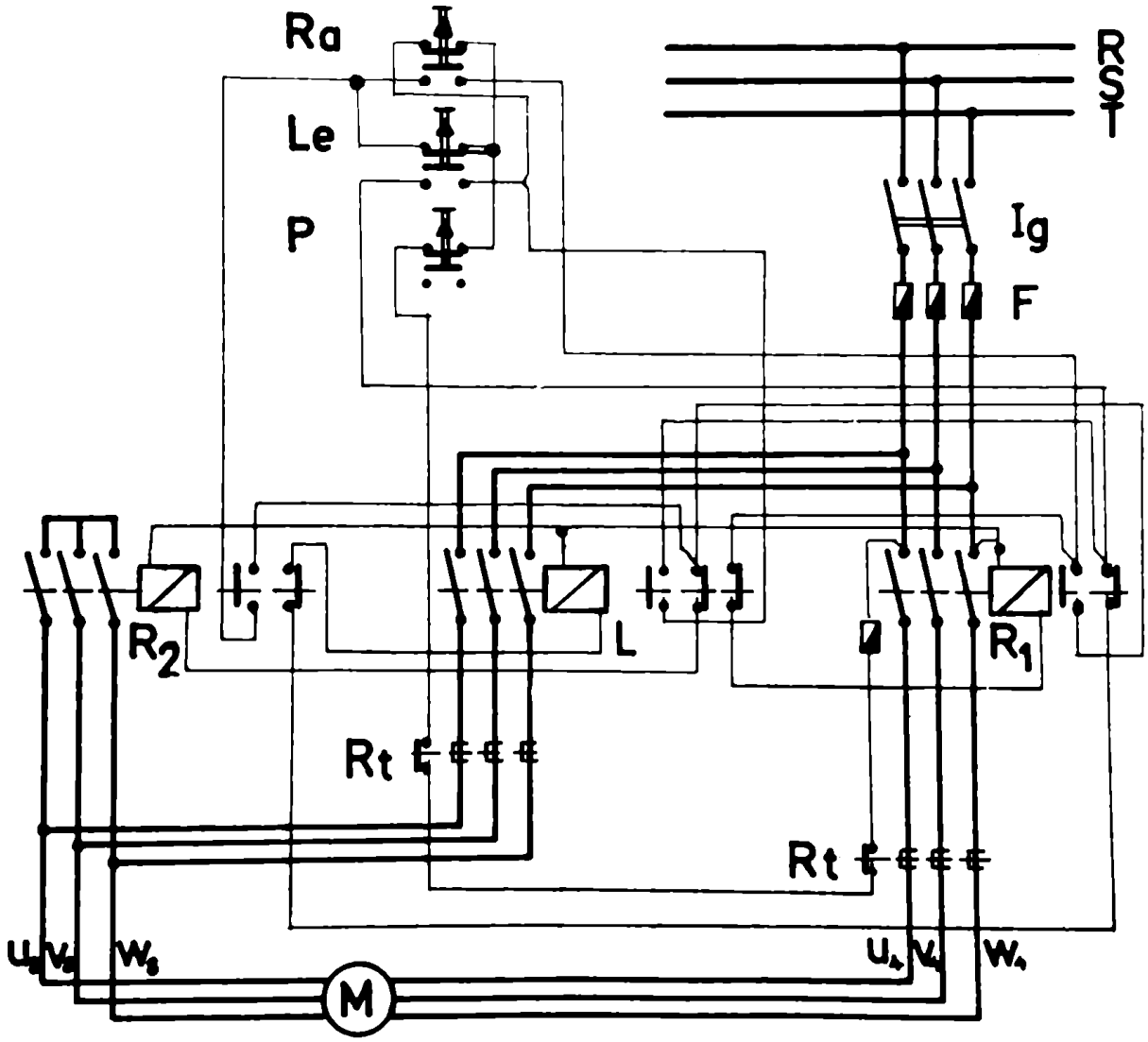
Prácticamente la velocidad del motor depende de la frecuencia y del número de pares de polos. Como la frecuencia para cada país es fija, en España es de 50 períodos por segundo, y sólo dependerá la velocidad del número de pares de polos, luego para variar la velocidad por el procedimiento de Dahlander es necesario conmutar el número de pares de polos en la relación 1:2; así podemos tener la velocidad de 750 r.p.m. y 1.500 r.p.m. que corresponden a 8 pares de polos y 4 pares de polos.

El esquema cuestión de este ejercicio corresponde a conmutador de polos para dos velocidades Dahlander de la firma Starkstrom, referencia CPDCTARR equivalente a la antigua DPULSM. Se describirá su funcionamiento en el próximo ejercicio, donde se presenta el esquema de mando de este mismo esquema, en conjunto.

Con este tipo de conexión se obtiene el máximo rendimiento al subdividir el arrollamiento de cadá fase en dos mitades para la conmutación de polos; estas mitades unidas en triángulo, en serie o en estrella doble, dan una, respecto de la otra, el doble de polos, y quedan en la relación de 2:1; por lo tanto, las velocidades son una doble que la otra; por ejemplo, 1.500 y 750 r.p.m., que les corresponde 8 y 4 polos o 4 y 2 pares de polos, respectivamente.

El motor así concebido y conexionado queda disponible para arrancar a una u otra velocidad indistintamente: la rápida o la lenta; pero siempre antes de pasar de una velocidad a la otra debe pasarse por el paro, cada velocidad tiene un relé de protección y ambas quedan enclavadas en los pulsadores, así como también con contactos auxiliares en los mismos contactores.

CONMUTADOR DE POLOS DAHLANDER

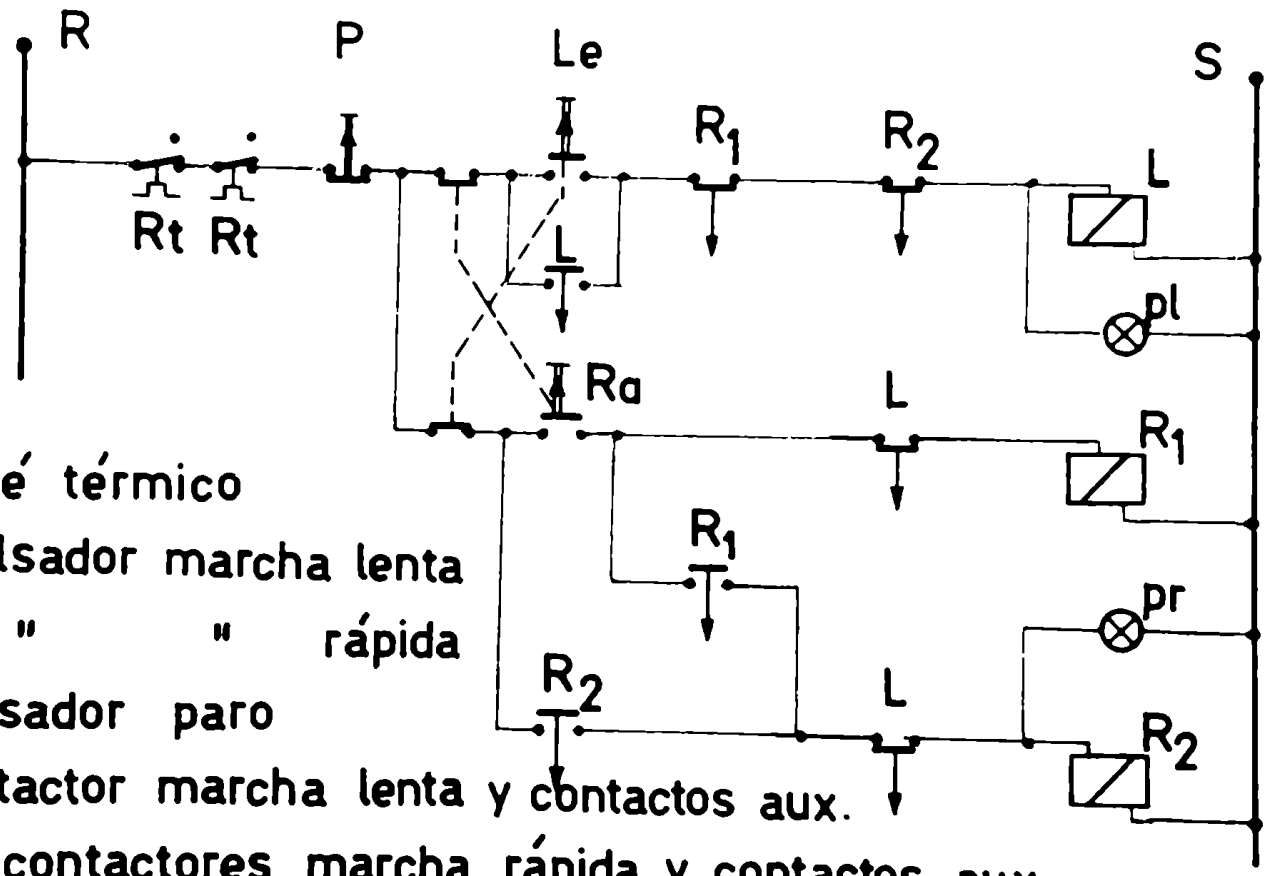


ESQUEMA DE MANDO CONMUTADOR DE POLOS DAHLANDER

Para obtener dos velocidades podemos seguir dos procedimientos: uno, disponer el motor con dos bobinados independientes uno del otro en el estator, y otro procedimiento, el bobinado de polos conmutables en conexión Dahlander como el representado en el ejercicio anterior, en conjunto del circuito de fuerza y el de mando. En el presente ejercicio tenemos el circuito de mando únicamente perteneciente al ejercicio anterior, y que se va a describir.

Para que funcione a la menor velocidad, marcha lenta, se pulsa un botón **Le**, y el circuito de mando que cierra el contactor de mayor número de pares de polos se establece por fase **R**; relés de tiempo en serie; contacto de enclavamiento del pulsador **Ra**; pulsador que se accionó **Le**; contacto auxiliar del contactor $\mathbf{R_1}$ de marcha rápida, que la enclava; contacto auxiliar del contactor $\mathbf{R_2}$ de la estrella, de marcha rápida, que la enclava; bobina **L** de marcha lenta, y neutro; el motor se pone en marcha y su realimentación se obtiene en el contacto de permanencia **L**, que se cerró al entrar el contactor **L**; el piloto que señaliza marcha lenta **pL** se enciende. Para cambiar de velocidad se para pulsando el botón **p**, luego se pulsa el **Ra** de marcha rápida y la corriente de excitación de bobinas se establece por el circuito siguiente: llega de fase **R**, pasa por los relés de protección **Rt**, pulsador de paro **P**, contacto de enclavamiento del pulsador **Le**, pulsador que hemos accionado **Ra**, contacto auxiliar **L** cerrado del contactor de marcha lenta, bobina $\mathbf{R_1}$ y neutro; esta corriente excita las bobinas $\mathbf{R_1}$ y cierra el contacto auxiliar $\mathbf{R_1}$, el que da paso a la corriente por otro contacto auxiliar **L**, hacia la bobina$\mathbf{R_2}$ del contactor-estrella del devanado de velocidad rápida; al entrar ésta, cierra su contacto auxiliar $\mathbf{R_2}$, que sirve de mantenimiento de la corriente a las dos bobinas $\mathbf{R_1}$ y $\mathbf{R_2}$, terminando así la maniobra y el motor gira a la mayor velocidad; el piloto **pR** señaliza esta velocidad. Si se trata de un motor de 4 CV a 380 v, consumirá 6'7 A, con un factor de potencia de 0'82; los contactores que se deben montar son del tipo 6DLS, con relés de protección térmica tipo M, con regulación 6'5 a 8'5 A, regulado a 6'7 A, los fusibles de línea de 20 A y el fusible de mando de 4 A. El conductor de línea para la carga del motor lo consideramos de 2'5 mm^2 de sección, que da una densidad de corriente de 2'6 A/mm^2 muy factible.

ESQUEMA DE MANDO CONMUTADOR DE POLOS DAHLANDER



Rt relé térmico

Le pulsador marcha lenta

Ra " " rápida

P pulsador paro

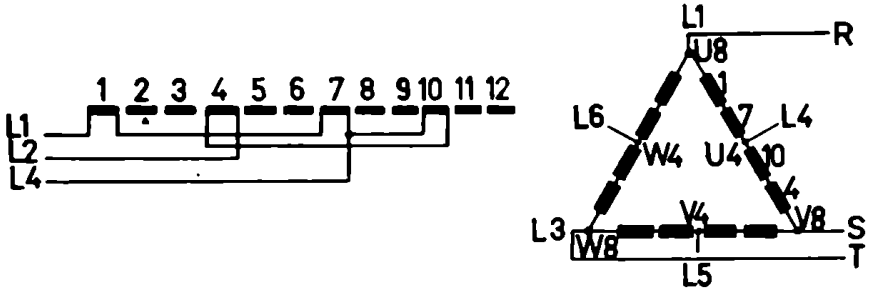
L contactor marcha lenta y contactos aux.

R_1 R_2 contactores marcha rápida y contactos aux.

MOTOR DOS VELOCIDADES CONEXION DAHLANDER

En esquemas anteriores se ha visto la conexión Dahlander para motores de dos velocidades y se ha descrito su funcionamiento. En este ejercicio se tratará de consideraciones generales afectas a esta conexión. Véase en el esquema de tres pilotos: el **Pr** señaliza cuándo ha disparado uno de los tres relés de protección; el **Le** señaliza que el motor está funcionando a la velocidad menor, marcha lenta, y el **Ra** señaliza que está funcionando a la velocidad mayor, marcha rápida, según el esquema de la casa Starkstrom.

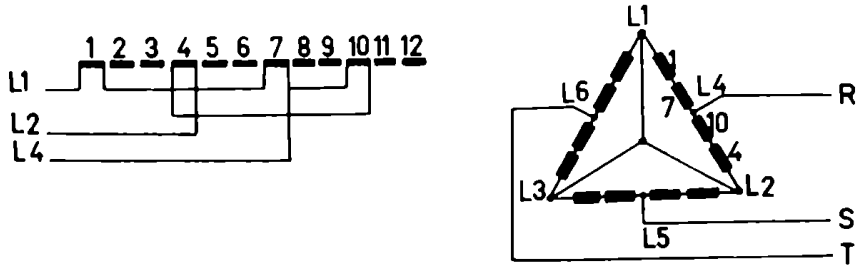
A continuación se representa una fase para formar los ocho polos.



Serán líneas L_1-L_2-L_3 (**R-S-T**).

Quedarán sin conectar L_4-L_5-L_6 para la velocidad mayor de ocho polos, y se forma en triángulo serie.

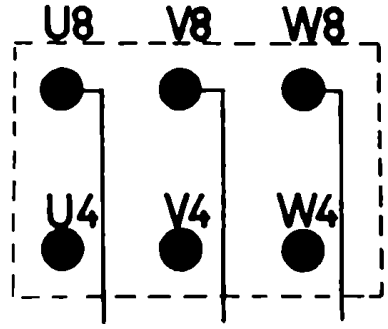
Seguidamente se representa una fase para formar cuatro polos.



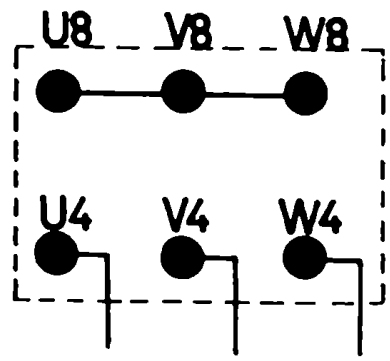
Serán líneas L_4-L_5-L_6 (R-S-T) se conectan en estrella L_1-L_2-L_3, y para la velocidad mayor de cuatro polos, se forma una doble estrella.

La conexión en la caja de bornas quedará según indicaciones siguientes:

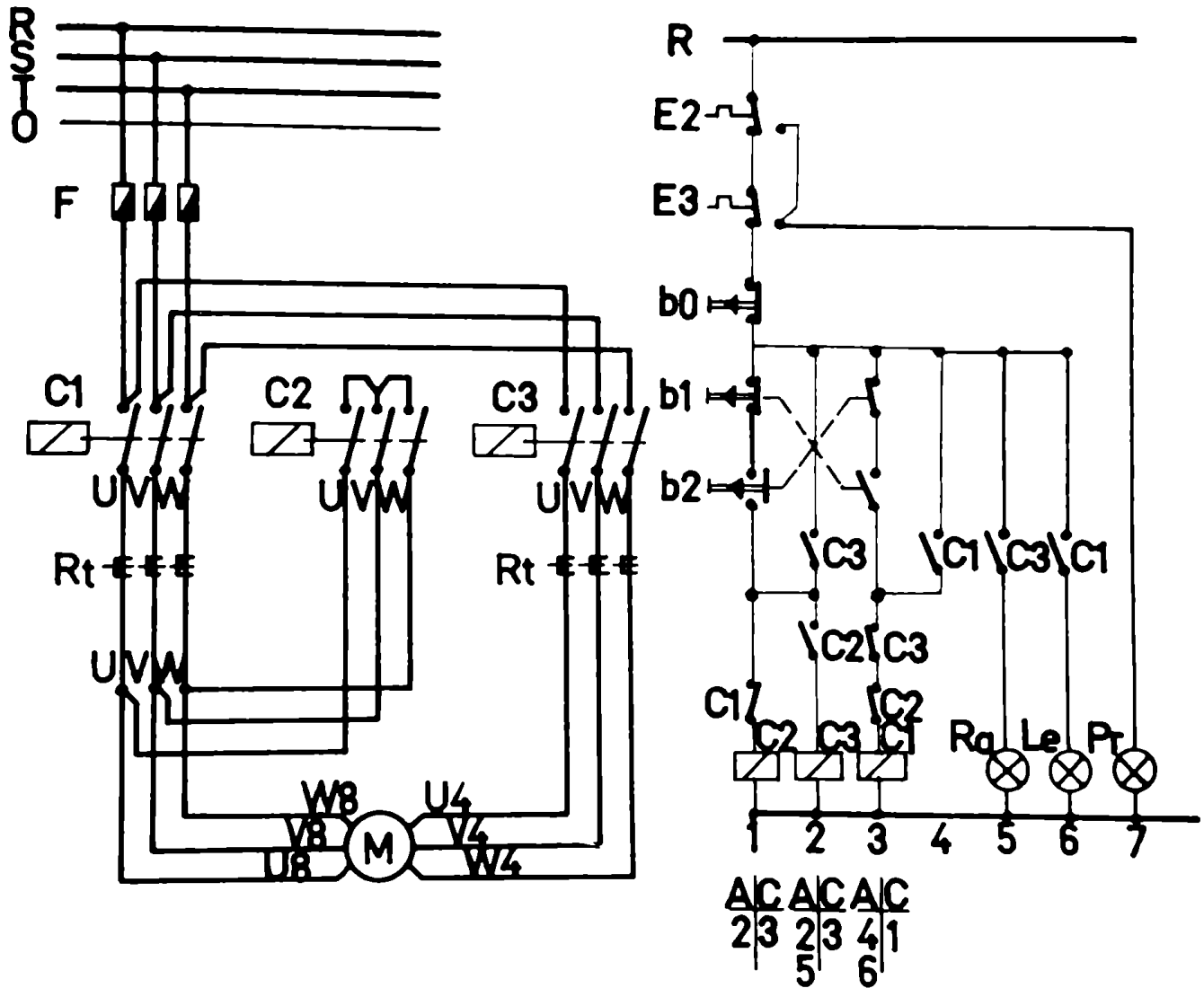
Caja de bornos para 8 polos, 750 r.p.m.



Caja de bornas para 4 polos, 1.500 r.p.m.



MOTOR DOS VELOCIDADES CONEXION DAHLANDER



MOTOR DE DOS VELOCIDADES Y DOS ARROLLAMIENTOS

En ejercicios anteriores se ha hablado de esquemas de dos velocidades con un solo arrollamiento o devanado en el estator; ahora se presenta un motor de dos velocidades con dos arrollamientos independientes entre sí. Estos motores tienen alguna desventaja, como lo es referente al flujo de dispersión; éste se ve obligado a cruzar ranuras profundas en el circuito magnético en parte interceptado, concentrándose por unos puntos y dispersándose por otros, lo cual significa una pérdida de potencia.

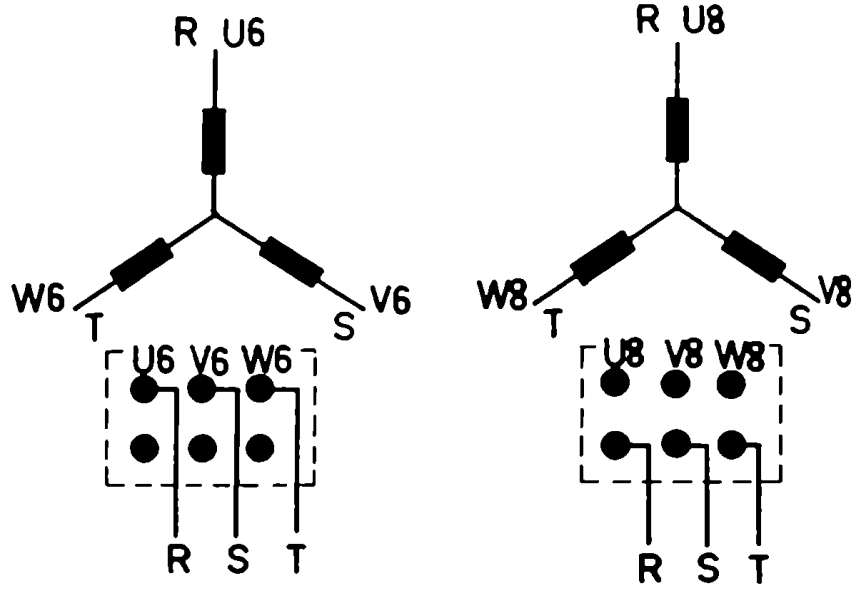
Al ser dos devanados independientes, cada uno funciona por separado; al estar uno en marcha el otro está parado y a su vez abierto, y sería perjudicial que se cerrara, pues serían espiras en cortocircuito cortadas por el flujo del devanado en servicio, creando unas corrientes inducidas y un flujo de oposición, etc., así los dos devanados se conexionan en estrella y sólo se conexiona el que se pone en servicio.

Los devanados quedan conexionados tal y como se indican en las figuras siguientes:

Primer arrollamiento de seis polos, tres pares, 1.000 r.p.m. y conexión caja de bornas.

Segundo arrollamiento de ocho polos, cuatro pares, 750 r.p.m. y conexión caja de bornas.

Siendo dos arrollamientos independientes, como si fuesen dos motores, se precisan dos contactores, dos relés, dos pulsadores con enclavamiento y un paro, además se enclavan ambos contactores con contactos cerrados en serie con sus respectivas bobinas.

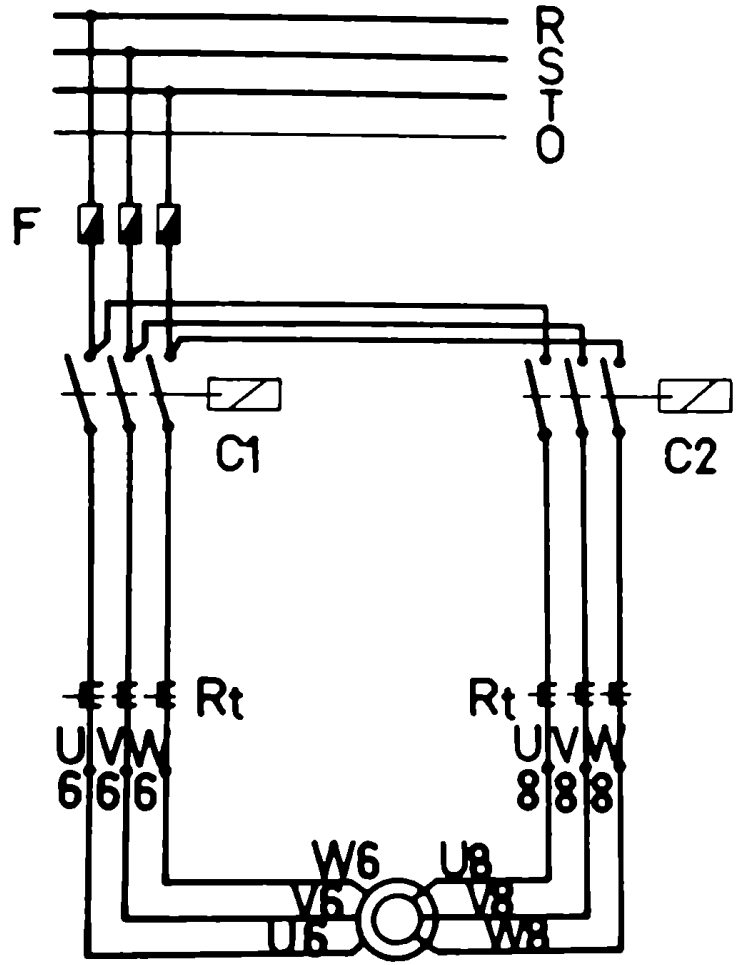


Puesta en marcha de una velocidad:

Pulsando el botón b_2 entrará la bobina c_2 y el motor funcionará a ocho polos, 750 r.p.m. La corriente se establece por fase **R**, relés **Rt**, paro b_0, contacto **b** del pulsador, contacto cerrado c_1 del otro contactor, bobina c_2 y neutro. El contactor c_2 entra y el motor gira; al actuar la bobina c_2 cierra el contacto auxiliar c_2 de permanencia y abre el c_2 en el circuito del contactor c_1 para enclavarlo, es decir, imposibilitarle una posible puesta en marcha.

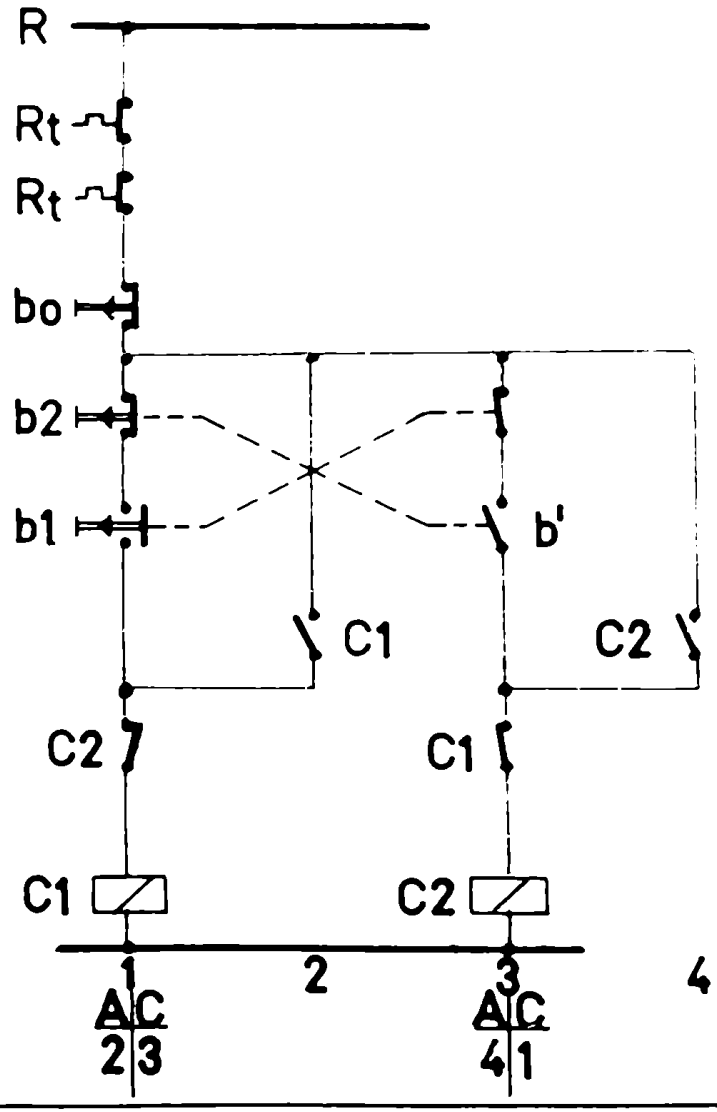
Como se ve, los enclavamientos son como los realizados para contactores de inversión. La bobina c_1 tiene un contacto abierto en el circuito **2**, uno cerrado en el **3**; la bobina c_2 tiene un contacto abierto en el circuito **4** y uno cerrado en el **1**.

MOTOR DE DOS VELOCIDADES Y DOS ARROLLAMIENTOS



1.000 r.p.m.

750 r.p.m.



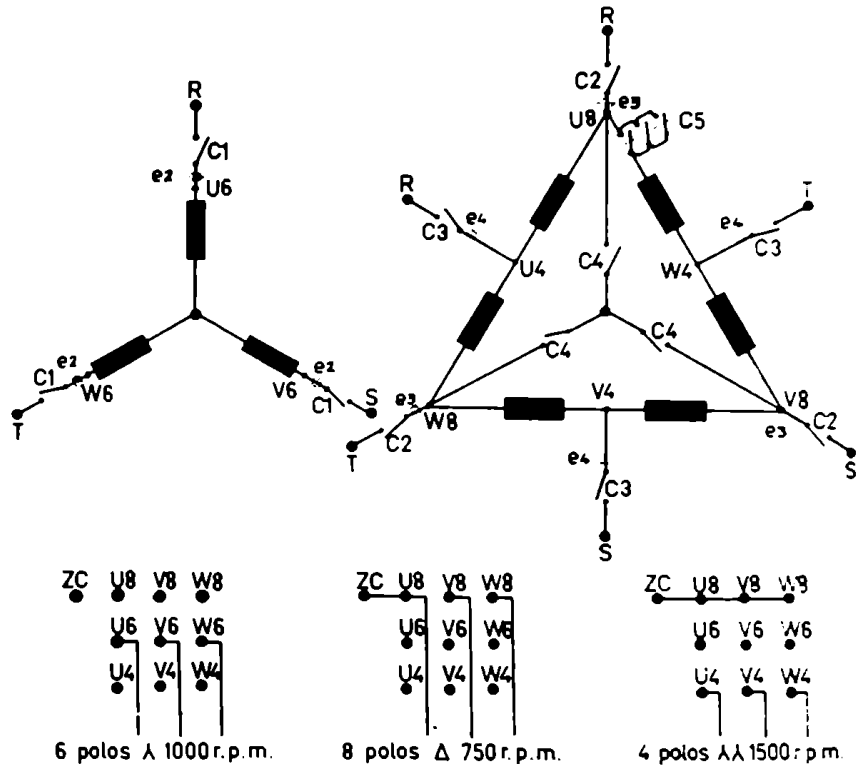
ESQUEMA DE TRABAJO DE UN MOTOR TRES VELOCIDADES

Generalmente un motor tiene una velocidad, pero en muchos casos suelen ser necesarias dos velocidades, las que se obtienen con la conexión Dahlander con un solo arrollamiento o bobinado.

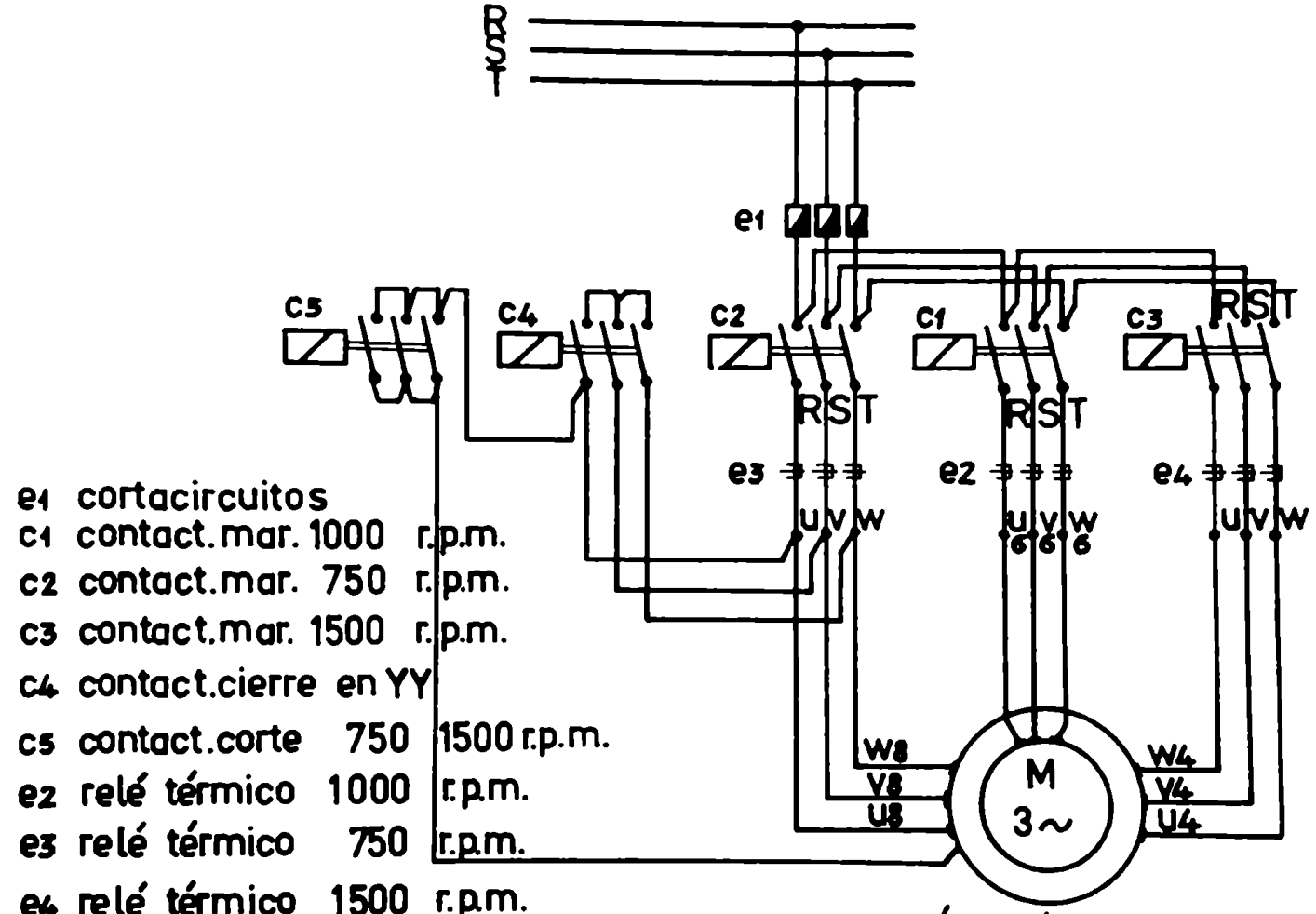
Hay ocasiones en que se precisan motores de tres velocidades, con motores de polos conmutables y conexionando un bobinado con la conexión Dahlander; si se realiza esta conexión en los dos devanados se obtienen cuatro velocidades.

Para conseguir las tres velocidades se precisan los devanados independientes uno de otro; en uno de ellos se hace la conexión Dahlander y el otro dará la tercera velocidad, pues la conexión citada nos da dos velocidades; así es el esquema presente de la casa Starkstrom.

Para el funcionamiento de la tercera velocidad con el devanado independiente es preciso que la conexión Dahlander tenga abierto un circuito para evitar que el devanado cree un campo magnético en oposición al que funciona, para ello el contactor C_5 abre la fase U_8 en **ZC**.



ESQUEMA DE TRABAJO DE UN MOTOR TRES VELOCIDADES



e1 cortacircuitos
c1 contact.mar. 1000 r.p.m.
c2 contact.mar. 750 r.p.m.
c3 contact.mar. 1500 r.p.m.
c4 contact.cierre en YY
c5 contact.corte 750 1500 r.p.m.
e2 relé térmico 1000 r.p.m.
e3 relé térmico 750 r.p.m.
e4 relé térmico 1500 r.p.m.

ESQUEMA CIRCUITO MANDO MOTOR TRES VELOCIDADES

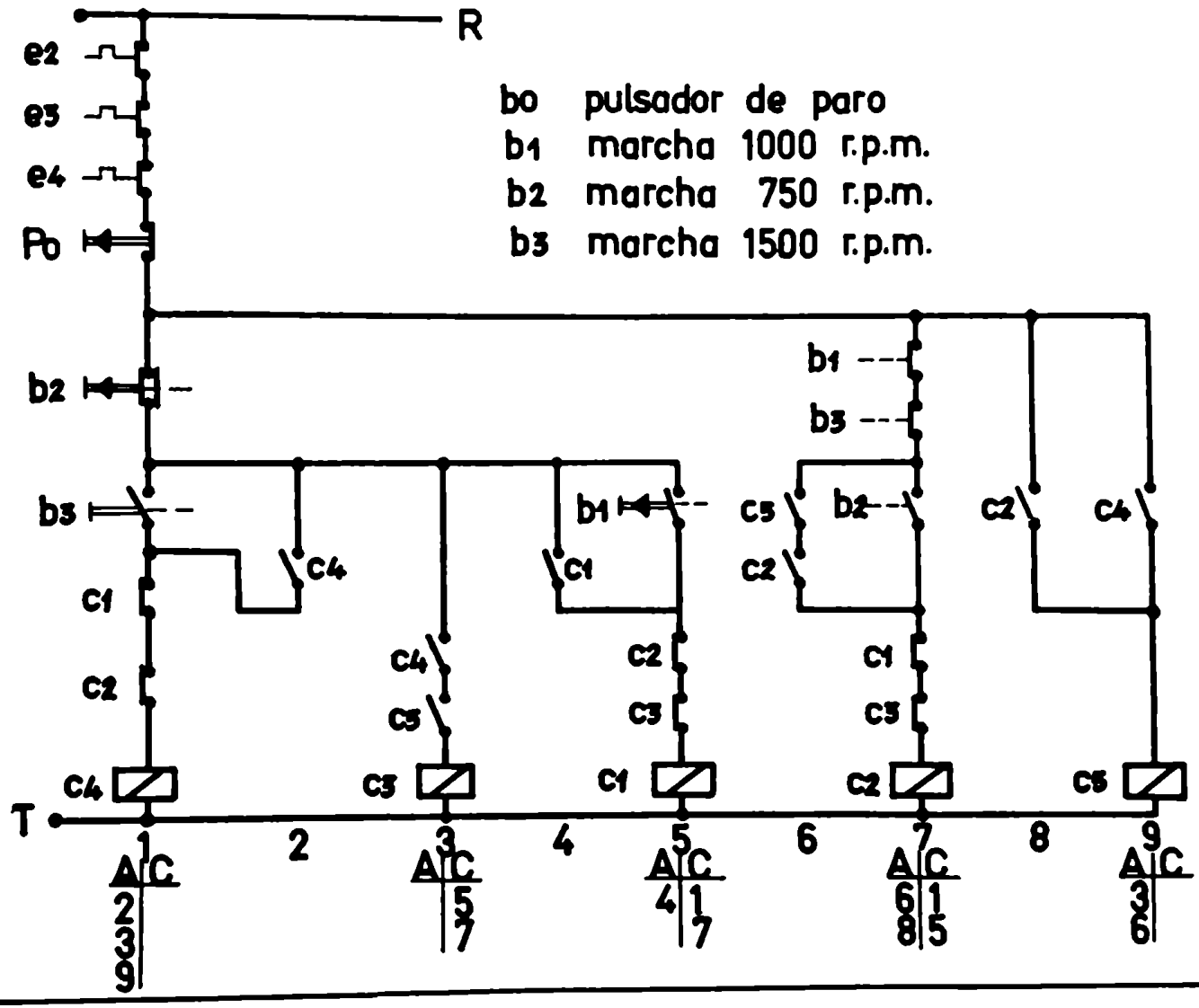
El esquema anterior representa el circuito de trabajo de un motor de tres velocidades con sus correspondientes contactores de mando; así, el C_1 conecta el devanado independiente de una sola velocidad, y mientras éste está conectado, los C_2, C_3, C_4 y C_5 están abiertos y corresponden al devanado de dos velocidades Dahlander. Si el C_1 se deja abierto y se cierran los contactos C_2 de este contactor permaneciendo abierto los C_3, C_4 y cierra también el C_5, el devanado quedará conectado en triángulo, ocho polos, a 750 r.p.m. Si los que se cierran son los contactos C_3, C_4 y C_5 queda el devanado en conexión Dahlander en doble estrella a cuatro polos a 1.500 r.p.m. Veamos su funcionamiento desde el circuito de mando. Cualquiera de las tres velocidades puede accionarse indistintamente y no es necesario parar el motor para cambiar de una a otra velocidad.

Para que el motor funcione a 1.000 r.p.m. se pulsa en el botón b_1 y la corriente pasa por los relés, paro y enclavamientos C_2 y C_3, excitando la bobina C_1 y ésta queda retenida por su auxiliar C_1. Los contactores de las dos velocidades restantes, C_2 y C_4, quedan enclavados por quedar abiertos sus circuitos en C_1, que ha sido abierto por el contactor C_1.

Para pasar a 750 r.p.m. se pulsa el botón b_2, que interrumpe el circuito de alimentación C_1 en su contacto de permanencias y a su vez cierra, al pulsar en b_2, el abierto b_2 en el circuito del contactor C_2, quedando éste excitado, lo mismo que el contactor C_5, al cerrarse el C_2 en el circuito **8** por ser contacto auxiliar del contactor C_2, mientras que los contactores C_4 y C_1 quedan enclavados por abrirse en sus circuitos los contactos auxiliares C_2.

Para pasar a la velocidad de 1.500 r.p.m. se pulsa en b_3 y los contactos cerrados de este pulsador abren parando la velocidad anterior al abrir C_2 y C_5, y los abiertos de b_3 excitan la bobina del contactor C_4 y queda retenida por el auxiliar de permanencia C_4; otro auxiliar C_4 conecta el contactor C_5 y un auxiliar de éste el C_5, quedando conectado a línea con el C_3 y en doble estrella con el C_4.

ESQUEMA CIRCUITO MANDO MOTOR TRES VELOCIDADES



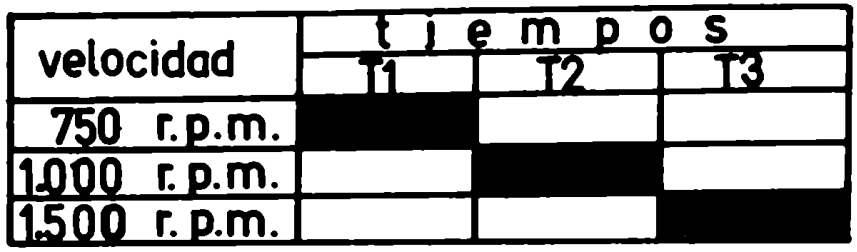
CICLO AUTOMATICO MOTOR TRES VELOCIDADES. POTENCIA

circuito de potencia o de trabajo

Según se ha mencionado en los apuntes del automatismo industrial de Starkstrom los relés temporizadores tienen infinidad de aplicaciones y como ejercicio práctico representa el ciclo automático de un motor de tres velocidades, asincrónico trifásico.

Para mejor estudio de su funcionamiento consideraremos dos esquemas; uno, con el circuito de potencia o de trabajo, y el otro, circuito de mando. El circuito de trabajo consta de un interruptor general, a_1; un juego de fusibles, e_1; tres contactores, c_1-c_2-c_3; tres relés térmicos de protección, e_3-e_4-e_5. El motor consta de dos devanados pará obtener tres velocidades, uno de ellos en conexión Dahlander para las velocidades 750 r.p.m., con ocho polos, y 1.500 r.p.m., con seis polos; en el segundo devanado se obtienen 1.000 r.p.m. Estas velocidades se obtienen automáticamente con los relés temporizadores regulando los tiempos de conexión de cada velocidad empezando en el sentido ascendente de 750-1.000-1.500 r.p.m., según diagrama de tiempos:

T_1 es el tiempo de conexión a 750 r.p.m.
T_2 es el tiempo de conexión a 1.000 r.p.m.
T_3 es el tiempo de conexión a 1.500 r.p.m.

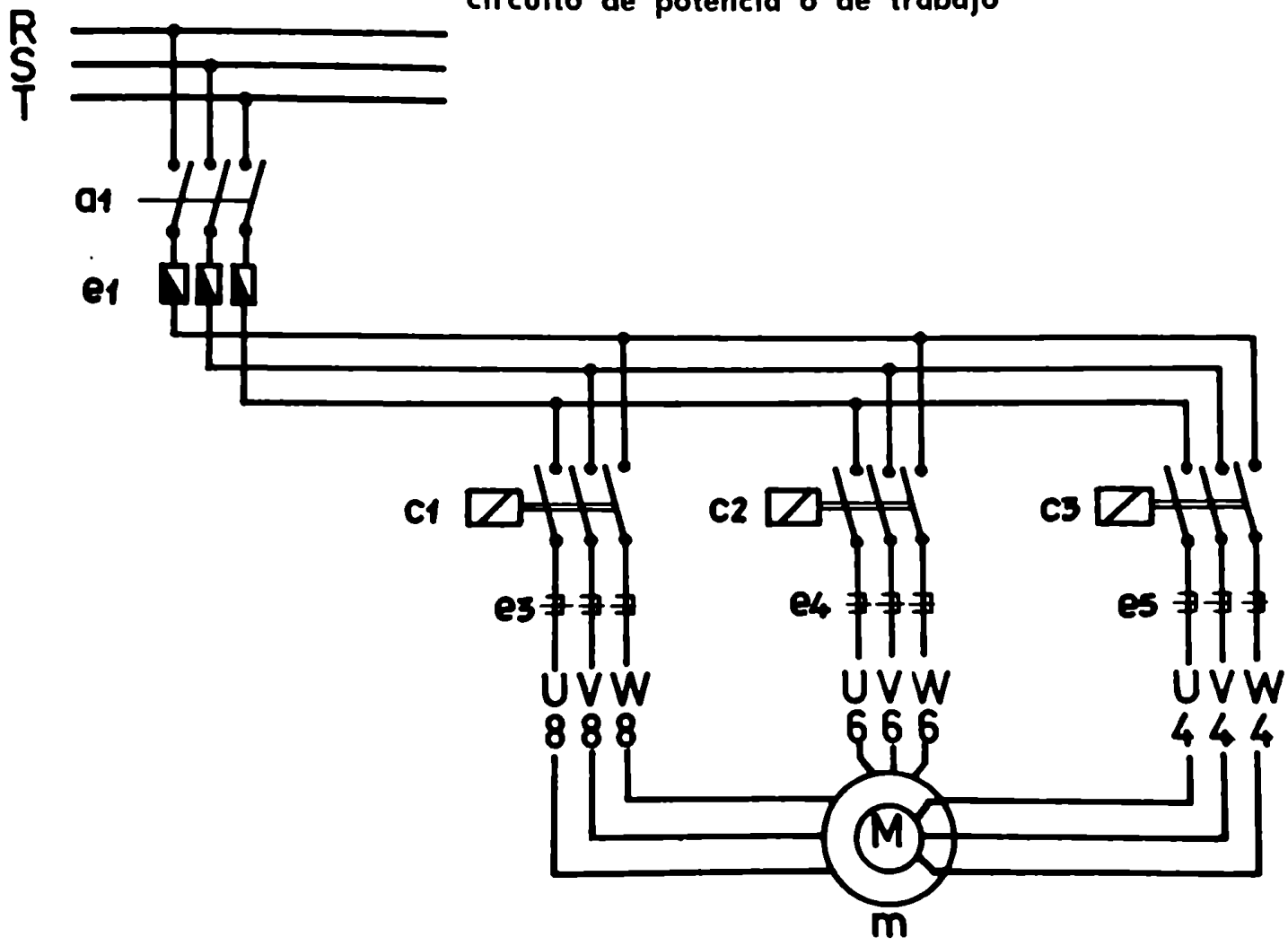


El motor girará a 750 r.p.m. mientras dure el tiempo T_1 temporizado; al finalizar éste el contactor c_1 deja de ser excitado y se abre, a la vez de cerrarse el contactor c_2, para obtener 1.000 r.p.m. durante un tiempo T_2, que, una vez finalizado, abre el contactor c_2 y cierra el c_3 durante un tiempo temporizado T_3, los relés van quedando fuera de servicio a medida que cumplen su misión y el motor sigue funcionando a su velocidad mayor.

Se ha dicho que el motor tiene dos devanados; uno de conexión Dahlander para dos velocidades y otro para la tercer velocidad. También puede disponerse de tres devanados, uno para cada velocidad, pero cada devanado encarece el motor y la potencia es inferior a más devanados.

CICLO AUTOMATICO MOTOR TRES VELOCIDADES. POTENCIA

circuito de potencia o de trabajo



CICLO AUTOMATICO MOTOR TRES VELOCIDADES. MANDO

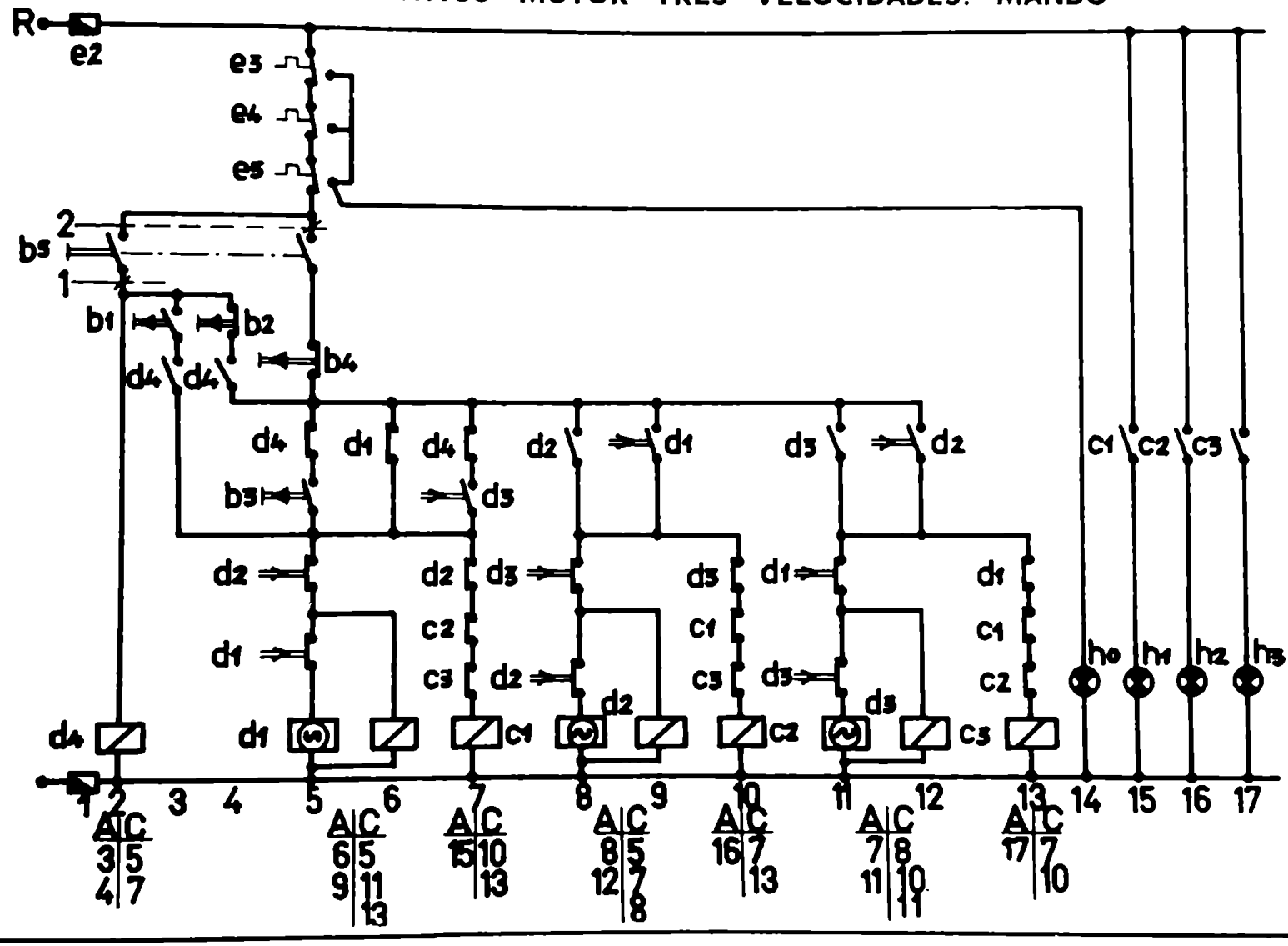
En el ejercicio anterior se ha descrito el circuito principal de trabajo con sus contactores de un motor de tres velocidades, asincrónico trifásico. En este ejercicio se presenta el circuito de mando o auxiliar de maniobra con sus relés térmicos de protección, pilotos de señalización de la velocidad en marcha, los temporizadores con sus respectivos embragues electromagnéticos, todos los juegos de contactos abiertos y cerrados y los temporizados y las tres bobinas de los contactores c_1, c_2 y c_3. Relación de elementos que intervienen en el circuito de potencia:

- a_1 Interruptor general.
- e_2 Circuitos de fusibles.
- c_1 Contactor de velocidad a 750 r.p.m.
- c_2 Contactor de velocidad a 1.000 r.p.m.
- c_3 Contactor de velocidad a 1.500 r.p.m.
- e_3 Relé térmico de protección de velocidad a 750 r.p.m.
- e_4 Relé térmico de protección de velocidad a 1.000 r.p.m.
- e_5 Relé térmico de protección de velocidad a 1.500 r.p.m.
- **m** Motor trifásico de tres velocidades a 750, 1.000 y 1.500 r.p.m.

Relación de elementos que intervienen en el circuito auxiliar de mando:

- b_1 Pulsador de marcha del ciclo único.
- b_2 Pulsador de paro del ciclo único.
- b_3 Pulsador de marcha del ciclo continuo.
- b_4 Pulsador de paro del ciclo continuo.
- b_5 Selector del ciclo único (1), paro (0) y continuo (2).
- d_4 Relé auxiliar.
- d_1, d_2 y d_3 Relés temporizadores.
- h_0 Lámpara indicadora de desconexión del relé térmico.
- h_1 Lámpara indicadora de marcha de la velocidad a 750 r.p.m.
- h_2 Lámpara indicadora de marcha de la velocidad a 1.000 r.p.m.
- h_3 Lámpara indicadora de marcha de la velocidad a 1.500 r.p.m.

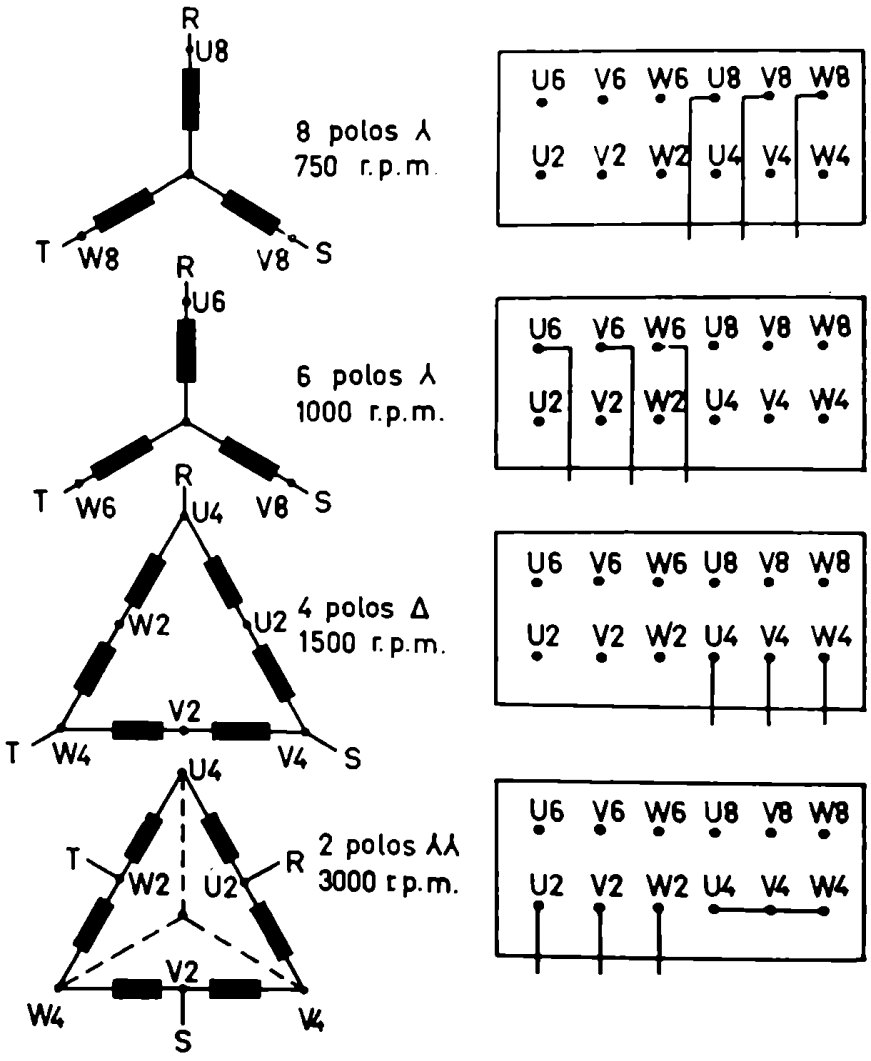
CICLO AUTOMATICO MOTOR TRES VELOCIDADES. MANDO



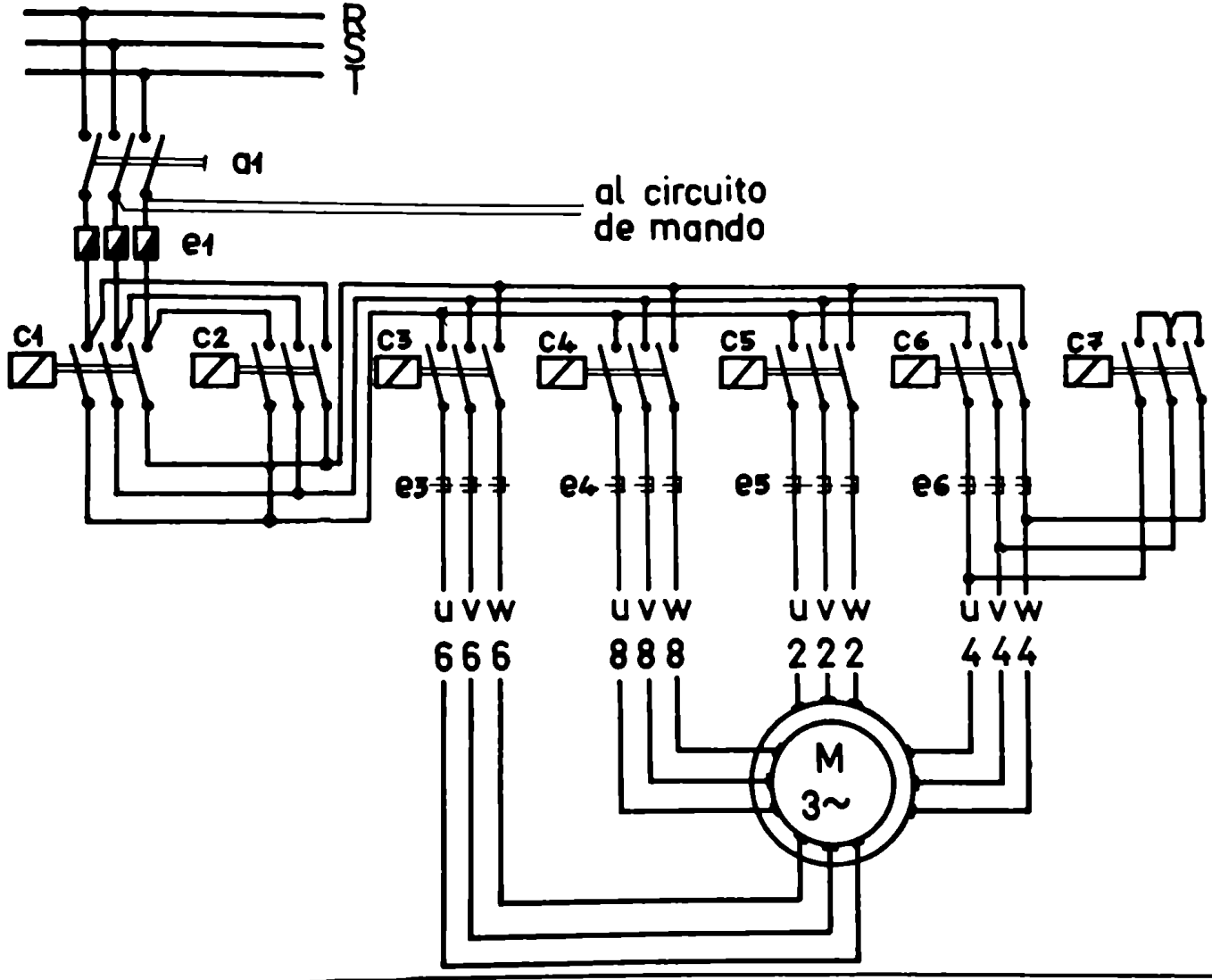
ARRANCADOR INVERSOR MOTOR CUATRO VELOCIDADES

Un motor asincrónico trifásico con velocidades múltiples necesita generalmente tantos devanados como velocidades, pero empleando la conexión Dahlander se reducen los devanados o arrollamientos; así tenemos el esquema principal de carga que presenta la casa Starkstrom de un motor con cuatro velocidades y tres arrollamientos en el estator y además con inversión en el sentido de giro del motor.

Este podrá girar a 1.500 r.p.m., 3.000 r.p.m. en la conexión Dahlander, a 750 r.p.m. en el segundo arrollamiento y a 1.000 r.p.m. en el tercer arrollamiento. Veamos la disposición de los esquemas de los devanados y el embornamiento en la caja de bornas, que es múltiple.



ARRANCADOR INVERSOR MOTOR CUATRO VELOCIDADES



ESQUEMA DE MANDO ARRANCADOR INVERSOR MOTOR CUATRO VELOCIDADES

En el esquema anterior se representa el circuito de carga del motor de cuatro velocidades que la casa Starkstrom fabrica; en él se ven en primer lugar dos contactores C_1 y C_2 encargados de la inversión de marcha en el sentido de giro del motor a cualquiera de las cuatro velocidades.

Consideraremos la conexión Dahlander, en ella obtenemos dos velocidades; la primera, a 1.500 r.p.m., conmutando a cuatro polos en triángulo serie y le corresponde conectar al contactor C_6; la segunda velocidad es a 3.000 r.p.m. cuando conecta el contactor C_5 y C_7, dejando el bobinado con dos polos, un par.

Para obtener los 750 r.p.m. correspondiente a ocho polos se conecta el bobinado independiente con el contactor C_4, y para obtener 1.000 r.p.m. debe conectarse el bobinado tercero, también independiente, a seis polos, con el contactor C_3.

Cuando gire a 3.000 r.p.m. con la conexión Dahlander el devanado queda conexionado en doble estrella mediante el contactor C_7.

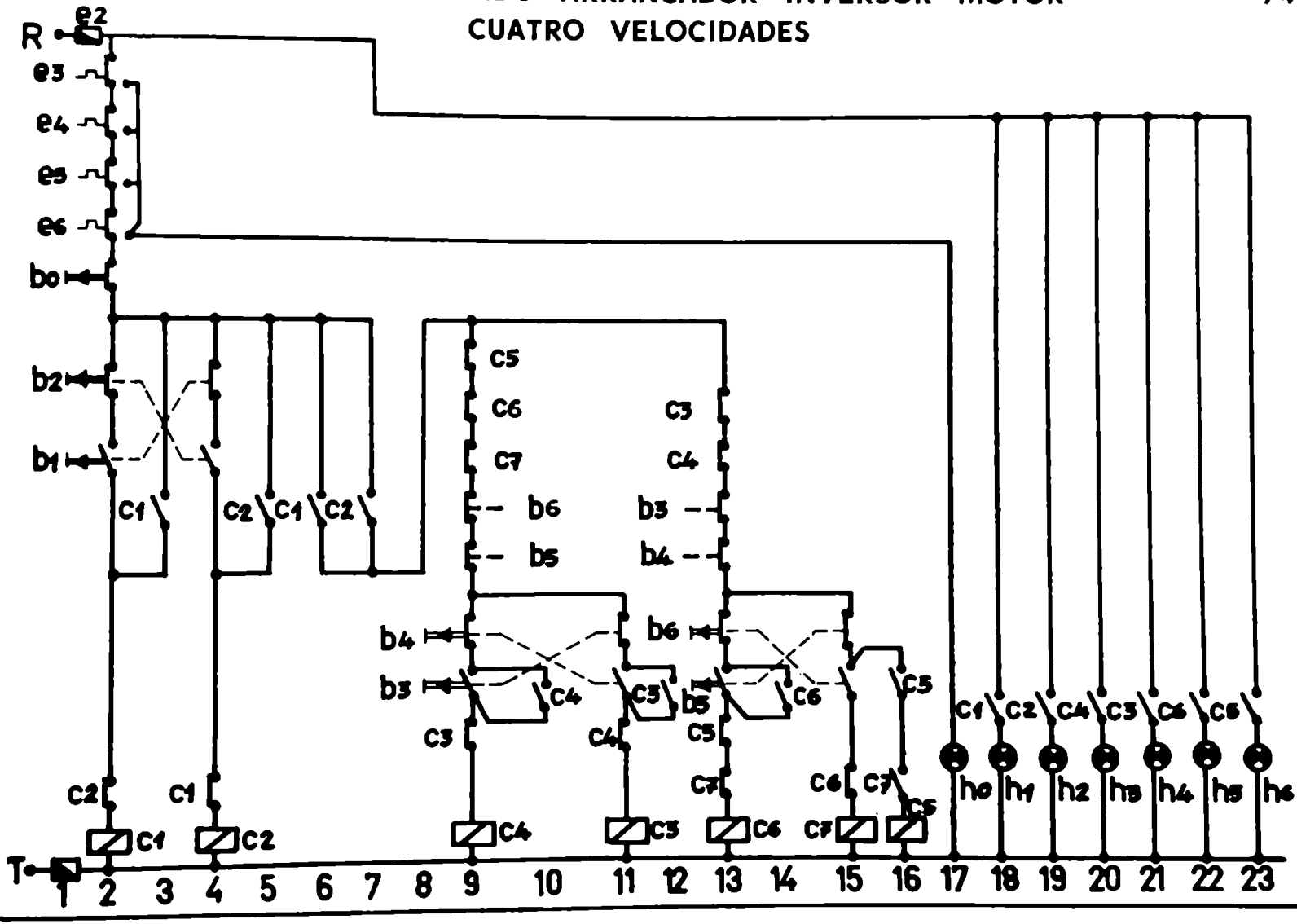
El circuito dispone de una serie de lámparas de señalización, una para cada velocidad y para cada sentido de giro (total seis); otra lámpara nos señaliza el disparo de cualquier relé que dispare, estas son cuatro, uno por cada velocidad.

Los componentes del circuito de mando son los siguientes:

- b_0 Pulsador de paro.
- b_1 Pulsador giro a derechas.
- b_2 Pulsador giro a izquierdas.
- b_3 Pulsador a 750 r.p.m.
- b_4 Pulsador a 1.000 r.p.m.
- b_5 Pulsador a 1.500 r.p.m.
- b_6 Pulsador a 3.000 r.p.m.
- h_0 Lámpara de señalización de desconexión del relé térmico.
- h_1 Lámpara señalizadora de marcha a derechas.
- h_2 Lámpara señalizadora de marcha a izquierdas.
- h_3 Lámpara señalizadora de velocidad a 750 r.p.m.
- h_4 Lámpara señalizadora de velocidad a 1.000 r.p.m.
- h_5 Lámpara señalizadora de velocidad a 1.500 r.p.m.
- h_6 Lámpara señalizadora de velocidad a 3.000 r.p.m.

Los pulsadores de inversión llevan su correspondiente enclavamiento, así como los de la conexión Dahlander e independientes.

ESQUEMA DE MANDO ARRANCADOR INVERSOR MOTOR CUATRO VELOCIDADES



CAPITULO V

Consta de diecisiete esquemas, entre los que se encuentran tres, referentes a la instalación de condensadores en derivación con sus motores para mejorar el factor de potencia, reduciendo la energía reactiva según cálculos posteriores. En el número 75 se muestra simplemente el condensador derivado de las bornas del motor; en el número 76 el condensador es conectado y desconectado conjuntamente con el motor a través de un contacto auxiliar enclavado. El número 77 representa el esquema de instalación automática de condensadores (véase la descripción correspondiente).

Los esquemas que siguen son aplicaciones prácticas de movimientos mecánicos combinados con finales de carrera, husillos, ruedas, etc., con el fin de abrir y cerrar una puerta, tajadera, válvula, mariposa, ascensor o compuerta, empleando un motor reductor puesto en marcha en uno u otro sentido de rotación mediante los dos contactores de inversión. Otros esquemas son instalaciones para llenado y vaciado de depósitos de áridos y, en general, productos sólidos cualesquiera; dos esquemas de máquinas herramientas de talleres, y, por último, la instalación de un freno eléctrico.

Esquema núm. 75. — Conexión de un condensador fijo.
Esquema núm. 76. — Conexión de un condensador con contactor.
Esquema núm. 77. — Instalación automática de condensadores.
Esquema núm. 78. — Instalación automática de puertas.
Esquema núm. 79. — Automatismo de elementos mecánicos.
Esquema núm. 80. — Accionamiento de compuerta, mariposa, etc.
Esquema núm. 81. — Instalación de apertura y cierre de una válvula.
Esquema núm. 82. — Esquema de un ascensor.
Esquema núm. 83. — Mando automático de una compuerta y su motor.
Esquema núm. 84. — Accionamiento regulado de una mariposa.
Esquema núm. 85. — Apertura y cierre señalizado de una compuerta.
Esquema núm. 86. — Llenado y vaciado automático de áridos.
Esquema núm. 87. — Mando local y a distancia de un motor.
Esquema núm. 88. — Extracción automática de silos y tolvas.
Esquema núm. 89. — Esquema de una máquina-herramienta.
Esquema núm. 90. — Esquema de funcionamiento de una fresadora.
Esquema núm. 91. — Freno eléctrico.

Necesidad de instalar condensadores para mejorar el factor de potencia de línea y obtener alta economía en el consumo eléctrico

Todo motor eléctrico instalado en la industria tiene su consumo propio según la potencia para la que ha sido calculado. Este motor en servicio adsorbe una carga en amperios que varía desde la propia en vacío hasta la normal de funcionamiento y, por lo tanto, una potencia evaluada en kilovatios útiles que varía en la misma proporción.

Para saber el consumo realizado en cierto tiempo son instalados en línea dos contadores trifásicos, uno de potencia activa o útil y otro de potencia reactiva; estas dos potencias eléctricas están relacionadas e íntimamente unidas, por lo que se llama factor de potencia o coseno fi, ángulo limitado por ellas como consecuencia del desfase habido entre la corriente consumida y la tensión de trabajo, efecto éste motivado por la autoinducción producida en el motor.

Las lecturas verificadas en estos dos contadores son las cifras correspondientes en KW-h y KVA-R-h (kilovatios hora y kilovoltamperios horas reactivos, respectivamente), que el consumidor debe pagar al precio estipulado a la empresa productora de energía eléctrica. Cada KW-h consumido lo paga a un precio, mientras que cada KVA-h reactivo consumido también lo paga a otro precio; pero puede ocurrir que estos últimos no se consuman, no haya lectura en el contador correspondiente, con el consiguiente ahorro.

¿Cómo conseguir eliminar dicha lectura?

Es muy fácil; debido a estas consideraciones de ahorro, que en su momento quedarán demostradas desde el punto de vista técnico y económico, es por lo cual el consumidor o abonado debe decidirse e instalar los aparatos que consiguen la economía mencionada, con uno o varios condensadores estáticos productores de energía reactiva capacitativa eliminando la facturación de la misma ubicada en KVA-h reactivo, obteniendo una economía notable y una explotación más rentable de sus máquinas, disponiéndose además, como se verá, de una disponibilidad muy estimable de reserva en su instalación, pudiéndose ampliar el consumo con nuevos motores a instalar. Beneficia además a la empresa productora o suministradora.

Si no se instalan condensadores en la línea el abonado se ve obligado a pagar la energía reactiva consumida según su consumo, pues a medida que el consumo de potencia activa sea mayor también lo es la reactiva y lo es la facturación en pesetas.

El factor de potencia varía; mientras que la potencia reactiva sube, el factor de potencia disminuye, como veremos en las figuras 1 y 2, por ello el coeficiente aplicado a la facturación es mayor y el recargo notable.

Es lamentable que por no realizar un pequeño gasto de principio en la adquisición e instalación de condensadores se vea obligado a pagar una factura de potencia de la que no se beneficia ni el consumidor ni el suministrador de energía eléctrica, pues aquélla queda perdida.

Los gastos del condensador, así como su instalación, quedan rápidamente amortizados, teniendo presente que el tiempo de su montaje es de horas nada más; generalmente se invierte un poco de conductor, un contactor con unos fusibles calibrados a su carga y un mante-

nimiento nulo, solamente inspeccionar de cuando en cuando comprobando que los fusibles no han saltado o fundido.
Estos condensadores son autoproductores de energía reactiva que, sumándose geométricamente con las tres potencias del motor, hace reducirse a un valor calculado anteriormente. Descargan la corriente devatada de las líneas y por lo tanto la total de carga del motor.
Las características fundamentales de los condensadores son: su potencia reactiva capacitativa medida en KVAr (kilovoltamperios reactivos), la tensión en voltios y la frecuencia en períodos por segundo (p.p.s.) se montan en derivación con los motores a la misma tensión de trabajo de los mismos.
Como indicación y aplicación a su estudio práctico, vamos a ver la relación de potencias en el triángulo de las mismas y su correspondencia con el factor de potencia o coseno fi, escrito cos φ.

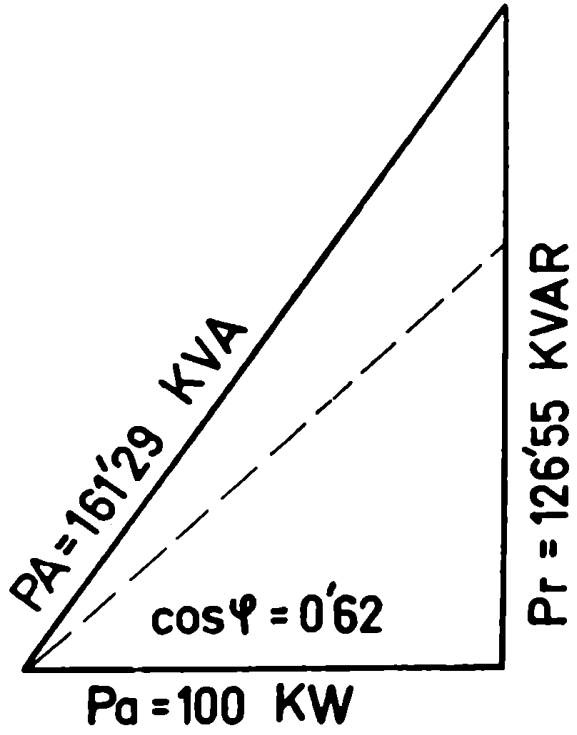


Figura 1

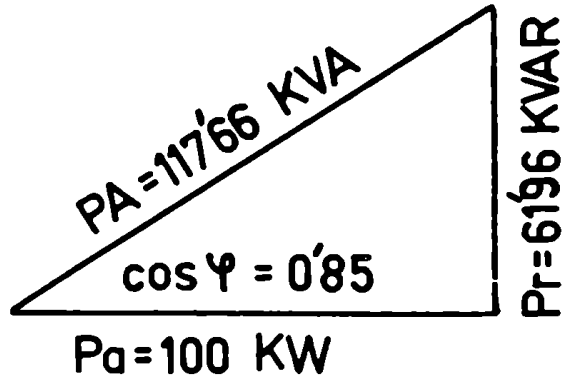


Figura 2

Disponemos de un motor de 20 CV que durante cierto tiempo ha consumido de línea 100 KW-h de potencia activa y 126'55 KVAR-h de potencia reactiva, con un factor de potencia de cos $\varphi = 0'62$, según la figura 1, dando una potencia total o aparente de 161'29 KVA.
Mientras que si en este mismo motor le instalamos un condensador apropiado y consume igualmente 100 KW-h de potencia activa, siendo ahora el factor de potencia de cos $\varphi = 0'85$, éste consumirá, según figura 2, una potencia reactiva de 61'96 KVAR-h con una potencia total o aparente de 117'66 KVA.

La diferencia de potencias reactivas será a favor del segundo caso de 126'55 — 61'96 = 64'59 KVAR, que son los que produce el condensador con signo contrario.
Vemos en los gráficos que a menor consumo de reactiva el ángulo formado por las potencias activa y total es menor y a menor ángulo, según las tablas trigonométricas, el valor del cos φ es mayor, llegando éste a su valor máximo, que es la unidad, cuando el ángulo se hace nulo, es decir, cuando las potencias activa y total son iguales, coincidiendo ambas
Resumiendo, las diferencias en ambos casos son las siguientes:

	Primer caso	Segundo caso	Diferencias
Potencia activa	100 KW	100 KW	—
Potencia reactiva	126'55 KVAR	61'96 KVAR	64'59 KVAR
Potencia total	161'29 KVA	117'66 KVA	43'63 KVA

que en tantos por ciento serán:

$100 \times \frac{64'59}{126'55} = 51\ \%$ y $100 \times \frac{43'63}{161'29} = 27\ \%$, respectivamente.

INSTALACIONES

La instalación de los condensadores puede realizarse de varias formas, que depende en función de que el número de motores de sus potencias sean pequeñas, medianas o grandes, pues de potencias que oscilan desde décimas de CV hasta decenas y centenas de CV, instaladas en la misma factoría, pueden elegirse tres casos, los más corrientes, aunque este problema es muy complejo.

a) Motores en los que el condensador se conecta en derivación con los bornas del motor, sistema muy práctico, si hay pocos motores, individualizando cada uno. En este caso el interruptor o contactor que conecta el motor a línea es común y, al desconectar el motor, el condensador queda igualmente desconectado y fuera de trabajo y la carga del condensador se elimina descargándose a través del devanado del motor que cierra circuito. El cálculo del condensador se verifica particularmente para cada motor.
b) Si en la instalación existen varios motores y entre ellos los hay de potencias pequeñas y grandes, el procedimiento de condensadores individuales sería antieconómico, siendo lo más factible el montar una batería de condensadores y, a ser posible, desconectar elementos paulatinamente según se vayan parando motores e incluso según las variaciones de las cargas, para que no sobre energía reactiva procedente de los condensadores.
c) El tercer caso es viable para redes con muchos motores instalados con potencias variadas; en este caso se hacen dos grupos, uno de ellos reuniendo a los motores de potencias pequeñas y el otro de potencias grandes o mayores que las anteriores.

VENTAJAS

La corrección del factor de potencia desde un bajo valor al correspondiente de compensación, que suele ser de 0'85 a 0'90, aunque prácticamente el más aconsejable y aceptable es el 0'85, ya que elevarlo a 0'90 requiere gasto sin conseguir una compensación proporcional.

Los beneficios técnicos conseguidos con la instalación de condensadores principalmente son:

a) Aumento de la potencia activa o disponibilidad en red de un porcentaje de ella; además se reduce la potencia total en KVA que el transformador nos suministra, con el ahorro consiguiente en el consumo, ya que las potencias activa y total tienden a ser iguales, máxime si el factor de potencia se acerca a la unidad cos $\varphi = 1$ para $\varphi = 0$.

b) En grandes instalaciones el consumo de corriente es notablemente menor, lo que nos facilita disponer una mayor capacidad en línea, puesto que la densidad de corriente ha disminuido disponiendo de sección de conductor para otros usos o simplemente quedará la línea descargada. Puede tenerse en cuenta para nuevas instalaciones reduciendo la sección desde un principio.

c) Al bajar la carga de paso en un conductor la pérdida de tensión, y por consiguiente la de potencia, disminuye según indica la fórmula $u = R \times I$, siendo **R** la resistencia del conductor, **I** la corriente de paso y **u** la caída de tensión.

Instalación práctica de un motor con un condensador

Si disponemos de un transformador cuyo primario está conectado en estrella y el secundario en estrella también (figura 3), a cuyos bornes de baja tensión tenemos conectado un motor de 125 CV equivalente a una potencia activa de 92 KW a plena carga, y este motor marca en su placa de características 220/380 voltios y la transformación del secundario es de 380/660 voltios, el motor se embornará en triángulo para 380 voltios. Suponiendo que el factor de potencia es de 0'65, los consumos de potencia serán según lo marca el triángulo de la figura 4, los que vamos a calcular seguidamente de varias maneras, a saber:

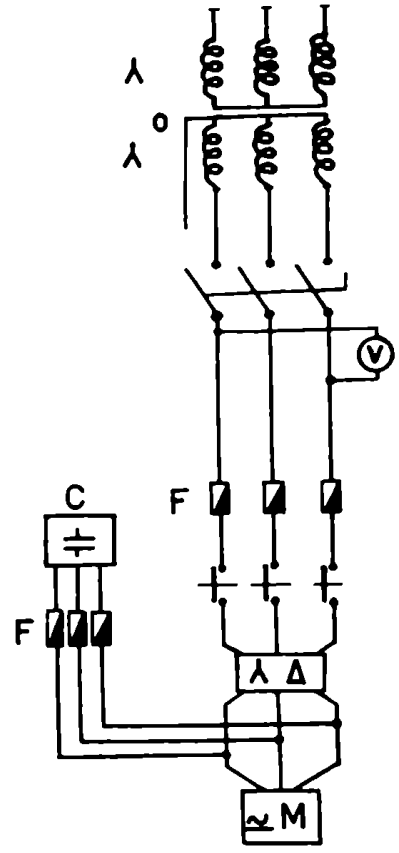


Figura 3

a) Por el teorema de Pitágoras:

Datos iniciales, 125 CV, lo que es igual a 92 KW factor de potencia cos $\varphi = 0'65$.

La potencia total o aparente será, en KVA,

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{P_A} = 0'65,$$

de donde,

$$P_A = \frac{P_a}{\cos \varphi} = \frac{92}{0'65} = 141'5 \text{ KVA.}$$

Potencia reactiva o devatada en función del teorema indicado,

$$P_r^2 = P_A^2 - P_a^2 = 141'5^2 - 92^2 = 11558'25,$$

$$P_r = \sqrt{11558'25} = 107'55 \text{ KVAr.}$$

b) Haciendo uso de las tablas trigonométricas, tendremos:
La potencia aparente la tenemos calculada como en el caso anterior, ya que al cos $\varphi = 0'65$ le corresponde, según las tablas, un ángulo de 49° 20' y a su vez a este

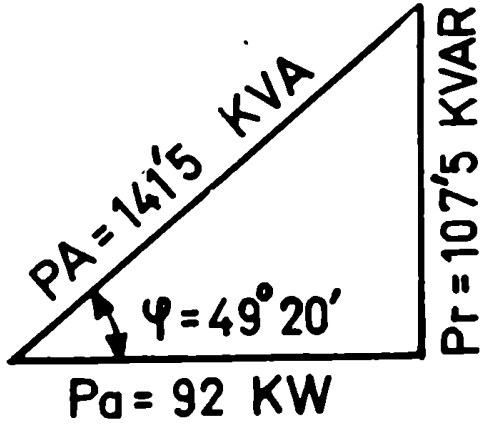


Figura 4

ángulo, igualmente según las tablas, le corresponde una tang $\varphi = 1'164$, y como

$$\text{tang } \varphi = \frac{P_r}{P_a}$$

deducimos la potencia reactiva:

$$P_r = P_a \times \text{tang } \varphi = 92 \times 1'164 = 107'08 \text{ KVAr.}$$

c) No disponiendo de tablas trigonométricas y conociendo la fórmula del coseno en función de la tangente, tenemos:

$$\text{tang } \varphi = \frac{P_r}{P_a}$$

de donde

$$P_r = P_a \times \text{tang } \varphi$$

la fórmula que nos da la tangente es

$$\text{tang } \varphi = \frac{\text{sen } \varphi}{\cos \varphi}$$

y el seno lo deducimos de

$$\text{sen}^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1$$

de donde

$$\text{sen } \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

sustituyendo llegamos a

$$\text{tang } \varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} =$$

$$= \frac{\sqrt{1 - 0'65^2}}{0'65} = \frac{0'759}{0'65} = 1'168 \text{ y}$$

$$P_r = P_a \times \text{tang } \varphi = 92 \times 1'168 = 107'45 \text{ KVAr.}$$

CALCULO DE LA POTENCIA REACTIVA PARA MEJORAR EL FACTOR φ

El vector **OA** representa la potencia activa o vatada, potencia útil del motor en KW según la figura 5 y **OB** representa la potencia aparente en KVA. La relación que hay entre estas dos potencias es el llamado factor de potencia o cos φ_1, siendo inferior al contratado por el usuario o el exigido para compensar la energía reactiva excesiva sobre un cierto valor, que suele ser de 0'85. Para pasar de cos φ_1 a cos $\varphi_2 = 0'85$, bastará producir la potencia reactiva de capacidad representada por **BC** de forma que **AB — AC = BC**, para que, sumándose vectorialmente, compense la que el motor consumía de línea. El factor de potencia pasará de un valor de cos φ_1

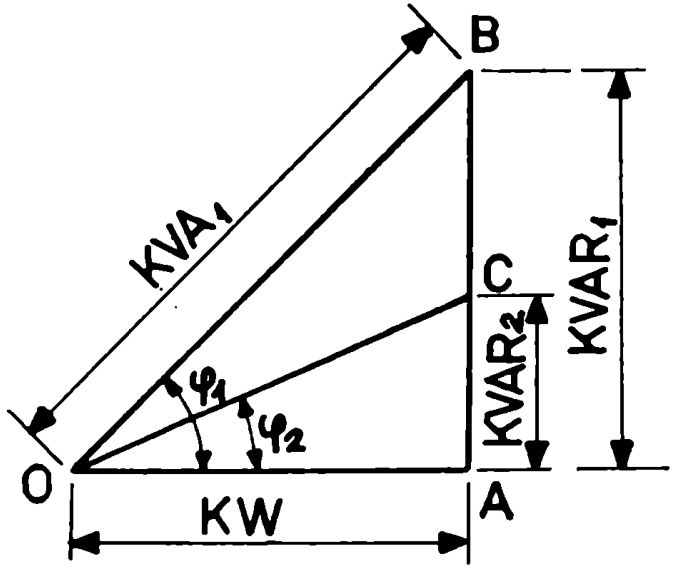


Figura 5

a otro superior de cos φ_2, siendo cos $\varphi_1 <$ cos φ_2 y, por lo tanto, $\varphi_1 > \varphi_2$. Importa indicar que a mayor factor de potencia corresponde menor ángulo de desenfase. Para realizar el cálculo que nos conduce a este fin podemos basarnos en las lecturas de los respectivos contadores de energías activa y reactiva medidas en KW-h y KVAR-h, y la relación entre ambas es la tangente o línea trigonométrica del ángulo del coseno a determinar, por lo tanto,

$$\text{tang } \varphi_1 = \frac{\text{KVAR-h}_1}{\text{KW-h}}$$

el resultado de esta relación, bien empleando las tablas de líneas trigonométricas a tal efecto o a través del cálculo del formulario trigonométrico nos conduce a la obtención del factor de potencia buscando cos φ_1. El cos φ_2, que es el que exclusivamente nos proponemos obtener en la instalación, es fijado y con él obtenemos en la tabla o por el cálculo la tangente o línea trigonométrica correspondiente a ese factor de potencia, que será tang φ_2, relación entre la energía reactiva compensada y rebajada a **AC** y la energía activa anterior, es decir,

$$\text{tang } \varphi_2 = \frac{\text{KVAR-h}_2}{\text{KW-h}}$$

La potencia reactiva o devatada que debe eliminarse en el consumo de la instalación es la que el condensador o batería de condensadores debe de producir, siendo esta la diferencia entre la primitiva o consumida por el motor antes de la compensación **AB** = KVAR_1 y la que quedará finalmente después del montaje del con-

densador **AC** = $KVAR_2$ resultará ser

$$\mathbf{BC} = \mathbf{AB} - \mathbf{AC} = KVAR_1 - KVAR_2$$

sustituyendo su valor en función de las líneas trigonométricas antes expuestas quedará,

$KVAR_1 = \text{tang } \varphi_1 \times KW$ y $KVAR_2 = \text{tang } \varphi_2 \times KW$

finalmente, sustituyendo

$$\mathbf{BC} = \text{tang } \varphi_1 \times KW - \text{tang } \varphi_2 \times KW = KW\ (\text{tang } \varphi_1 - \text{tang } \varphi_2).$$

El resultado de este cálculo será la potencia reactiva a producir por los condensadores a montar en la instalación mencionada, a la tensión de trabajo que corresponda al motor, teniendo en cuenta que puede ser ésta de 127 V, 220 V, 380 V y 660 V.

REDUCCION EN LA POTENCIA APARENTE

Si una vez realizado el montaje de un condensador en una línea no se instalan nuevos motores y queda sin variación, la potencia total que debe suministrar el transformador o bien la potencia transportada por la línea desciende como indica la figura 6, desde un valor OB a OC, diferencia que se traduce en beneficio indiscutible a favor del abonado y de la empresa suministradora por conceptos que se irán viendo. La calcularemos deduciendo en la figura antes dicha, siendo

$$\cos \varphi_1 = \frac{KW}{KVA_1} \quad \text{y} \quad \cos \varphi_2 = \frac{KW}{KVA_2}, \quad \text{de aquí}$$

$$KVA_1 = \frac{KW}{\cos \varphi_1} \quad \text{y} \quad KVA_2 = \frac{KW}{\cos \varphi_2} \quad \text{diferencia}$$

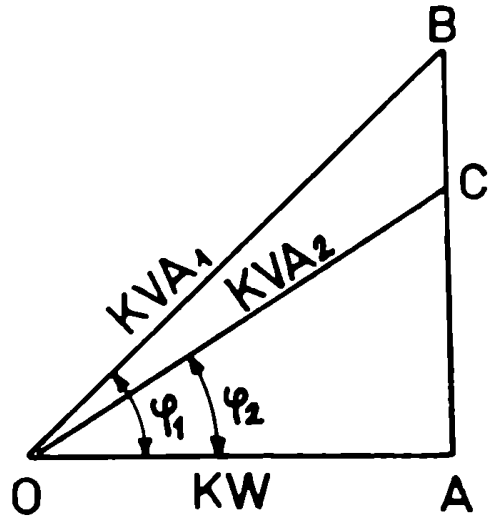


Figura 6

$$\mathbf{OB} - \mathbf{OC} = KVA_1 - KVA_2 = KW\left(\frac{1}{\cos \varphi_1} - \frac{1}{\cos \varphi_2}\right)$$

que está en función del factor de potencia corregido.

Un ejemplo lo aclarará:

Para una potencia instalada de 100 KW, o, lo que es lo mismo, de 153'8 KVA a suministrar por la línea correspondiéndole un factor de potencia de 0'65 y el corregido lo fijamos en 0'9, con ellos se hace el cálculo.

La potencia disminuirá en

$$\mathbf{OB} - \mathbf{OC} = KVA_1 - KVA_2 = KW\left(\frac{1}{\cos \varphi_1} - \frac{1}{\cos \varphi_2}\right) = 100\left(\frac{1}{0'65} - \frac{1}{0'9}\right) = 42'7 \text{ KVA},$$

luego ahora la línea quedará cargada con 153'8 — 42'7 = = 111'1 KVA. Los 42'7 KVA suponen el 27'7 por ciento de reducción.

AUMENTO DISPONIBLE DE POTENCIA ACTIVA

Si la economía en el consumo de potencia después de la compensación con el montaje del condensador, la empleamos en ampliar la instalación siguiendo el transformador suministrando la misma potencia aparente, podremos ampliarla en potencia activa o efectiva en una cantidad que calcularemos seguidamente, siendo esta **AD**, según figura 7,

$$\cos \varphi_1 = \frac{\mathbf{OA}}{\mathbf{OB}} = \frac{KW_1}{KVA_1}, \quad \text{y} \quad \cos \varphi_2 = \frac{\mathbf{OD}}{\mathbf{OB}} = \frac{KW_2}{KVA_1}.$$

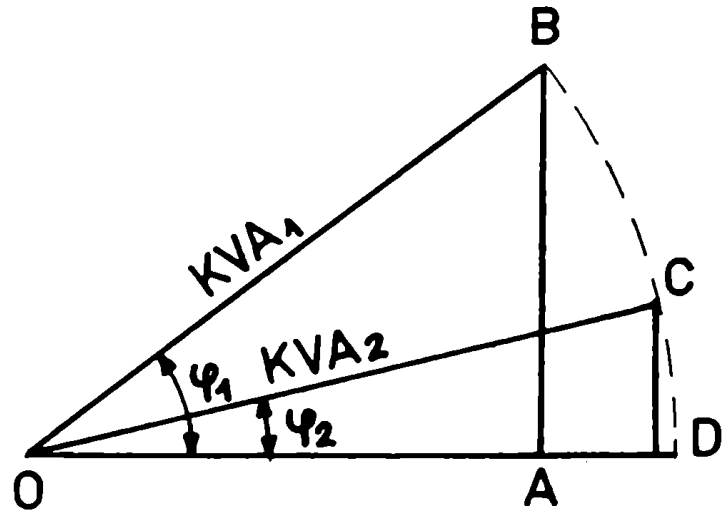


Figura 7

El aumento de potencia activa será.

$\mathbf{AD} = \mathbf{OD} - \mathbf{OA} = KW_2 - KW_1 = KVA_1 \times$

$\times \cos \varphi_2 - KVA_1 \times \cos \varphi_1 = KVA_1 (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1)$,

queda demostrado que este aumento de potencia activa está en razón directa del factor de potencia elegido. Un ejemplo lo aclarará con los datos del anterior, $\mathbf{AD} = KVA_1 (\cos \varphi_2 - \cos \varphi_1) = 153'8 \ (0'9 - 0'65) =$ = 38'45 KW referido al tanto por ciento resulta ser la misma cantidad; recuérdese que se tomó 100 KW de activa.

Nos demuestra efectivamente que en esta instalación podemos disponer de más de un tercio de la potencia instalada con los mismos gastos de facturación, cosa importante a tener en cuenta los usuarios de energía eléctrica.

CASO PRACTICO DE LA FACTURACION DE ENERGIA CON Y SIN CONDENSADOR

Si un abonado ha consumido durante un mes la cantidad de 8.750 KW-h de potencia activa y 11.650 KVAR-h como potencia reactiva, lecturas tomadas de sus respectivos contadores, el factor de potencia será:

$$\text{tang } \varphi = \frac{11.650}{8.750} = 1'3314,$$ cuyo ángulo vale $\varphi = 53° \ 10'$

y el coseno o factor de potencia será $\cos \varphi = 0'6$, según tablas.

Para mayor comodidad y simplicidad de cálculo, puesto que sólo se trata de encontrar la diferencia entre la facturación del consumo de un mes hecho sin condensadores y la correspondiente a la instalación con conden-

sadores, aplicamos un solo bloque de tarifa y a un precio arbitrario aproximado.
Si la facturación del KW-h es a 1'80 pesetas, el importe directo será

$$1'80 \times 8.750 = 15.750 \text{ pesetas.}$$

Si el recargo por el consumo de energía reactiva equivale a un 25 por 100, ésta supondrá

$$0'25 \times 15.750 = 3.937'5 \text{ pesetas.}$$

Sumando las dos cantidades son

$$15.750 + 3.937'5 = 19.687'5 \text{ pesetas.}$$

Si consideramos que los pagos por impuestos complementarios lo evaluamos en un 88 por 100, ascenderá a

$$0'88 \times 19.687'5 = 17.325 \text{ pesetas}$$

y el importe total será

$$17.325 + 19.687'5 = 37.010'5 \text{ pesetas.}$$

Efectuando la corrección del factor de potencia al instalar los condensadores pasaremos del valor de 0'6 que tenía antes a 0'85, que es el exigido o deseado para eliminar la facturación de la energía reactiva; la facturación en este caso quedará:
Importe directo anterior 15.750 pesetas.
Impuestos complementarios al 88 por 100 ascenderá a

$$0'88 \times 15.750 = 13.860 \text{ pesetas.}$$

El importe total será

$$15.750 + 13.860 = 29.610 \text{ pesetas.}$$

Mensualmente obtenemos una economía de

Facturación antes de la compensación ...	37.010'5 Ptas.
Facturación después de la compensación	29.610'0 Ptas.
Total	7.400'5 Ptas.

Anualmente representa una economía de 88.806 pesetas, y teniendo en cuenta que la amortización puede efectuarse aproximadamente en ocho o diez meses, a partir de entonces la economíc es efectiva y en la cuantía indicada.

REDUCCION EN LA CORRIENTE TOTAL

En la página 204 hemos considerado el estudio de la energía reactiva que debe producir un condensador para mejorar el factor de potencia pasando de un valor de 0'62 a otro de 0'85, para un motor de 20 CV que en un tiempo determinado ha consumido 100 KW-h.
Le corresponde una potencia reactiva de 126'55 KvAr-h.
La corriente activa de este motor vale, trabajando a 220 V y con un factor de potencia cos $\varphi = 0'62$ y antes de la compensación,

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3} \times U} = \frac{20 \times 736}{1'73 \times 220} = 38'7 \text{ A}$$

La corriente total adsorbida será

$$I_t' = \frac{I_a}{\cos \varphi_1} = \frac{38'7}{0'62} = 62'5 \text{ A}$$

La corriente total después de la compensación será

$$I_t'' = \frac{I_a}{\cos \varphi_2} = \frac{38'7}{0'85} = 45'5 \text{ A}$$

cuya diferencia es

$$i = I_t' - I_t'' = 62'5 - 45'5 = 17 \text{ A}$$

supone el

$$i' = 100 \times \frac{i}{I_t} = 100 \times \frac{17}{62'5} = 27'2 \text{ A \%}$$

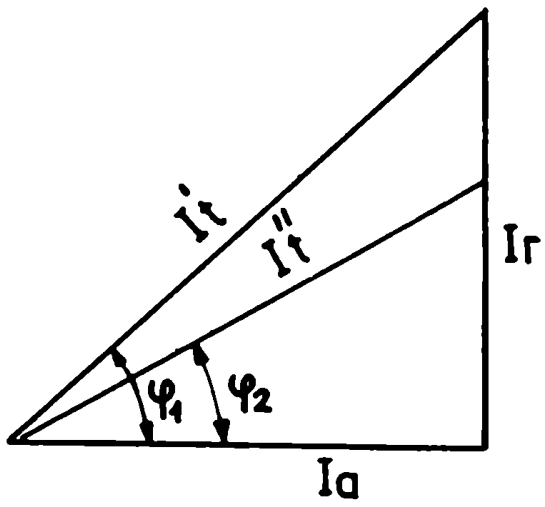


Figura 8

La figura 8 indica el triángulo de corrientes antes y después de la compensación mediante condensadores.

INFLUENCIA DE LA FUSION DE FUSIBLES EN EL CIRCUITO DE LOS CONDENSADORES

El mantenimiento y conservación de la instalación de los condensadores es de máxima importancia y a ello se le debe aplicar una atención diaria; ésta sólo requiere una revisión o comprobación de los fusibles que protegen a estos condensadores, evitando que trabajen con algunos fundidos, pues da lugar a que no produzcan energía reactiva y en cambio sea adsorbida de línea con la consiguiente disminución del factor de potencia hasta valores antieconómicos. En lo que se refiere a materiales, trabajo y mano de obra, es nula, como ha quedado indicado; es suficiente comprobar los fusibles y reponer los que pudieran estar fundidos, cosa que suele ocurrir alguna vez, como se verá en el siguiente ejemplo práctico.

Se van anotando los valores correspondientes a las potencias activa y reactiva y factor de potencia; todos estos valores se trasladan a un gráfico en el que se ven de forma más práctica las variaciones anormales de un punto del que hablaremos.

Estas tablas están realizadas con las cifras auténticas tomadas cada quince días y los factores de potencia deducidos de ambas potencias mediante las tangentes y con ayuda de las tablas trigonométricas.

TABLA DE LECTURAS Y VALORES CALCULADOS

KW-h	KVAR-h	Tang φ	φ	Cos φ
690	435	0'630	32° 20'	0'84
670	420	0'626	32° —	0'85
625	375	0'600	31° —	0'86
700	440	0'628	32° 10'	0'85
565	350	0'620	31° 50'	0'85
570	350	0'631	32° 20'	0'85
500	380	**0'760**	**37° 20'**	**0'79**
560	350	0'625	32° —	0'85
560	340	0'607	31° 20'	0'85
540	315	0'583	30° 20'	0'86
500	300	0'600	31° —	0'86

Según el gráfico, los valores correspondientes al punto **A** y sucesivos hasta el **C** son normales, conservando cierta relación o proporción, y aunque el punto **B** pre-

sente valores superiores a los anteriores, es lógico, puesto que significa un aumento en el gasto de potencia de la instalación y persiste la proporcionalidad de los dos gráficos o potencias consumidas, que hacen mantener inalterable el factor de potencia exigido de 0'85; no obstante, en el punto **D** existe una gran anomalía muy visible y de fácil explicación, como vamos a ver.

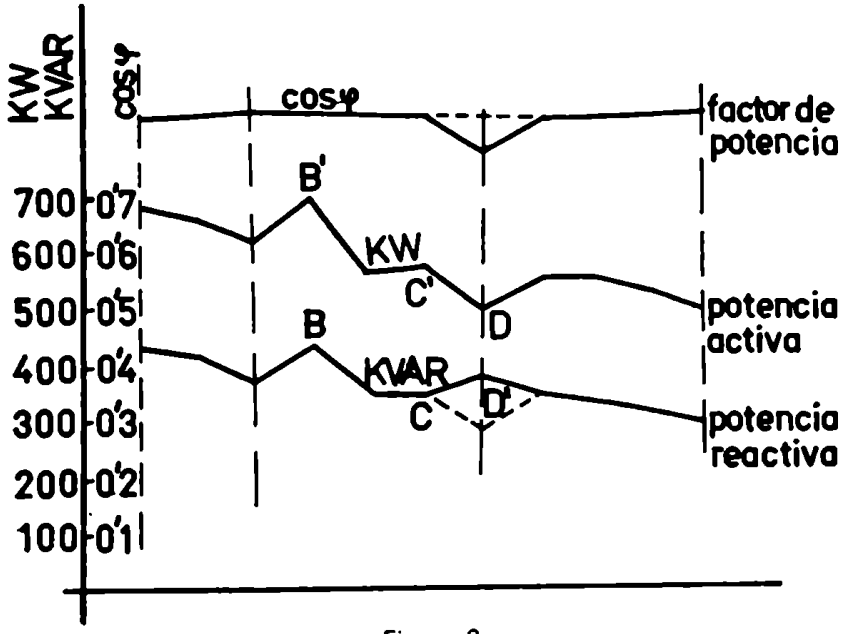


Figura 9

Al efectuar las lecturas, primero la de potencia activa, vemos que es muy inferior a las anteriores; pero esto no quiere decir sino que ha habido una disminución en el gasto de la fábrica, bien por trabajar menos horas, o por vacaciones, o por otras causas que aquí no interesan; sin embargo, al leer la lectura de la potencia reactiva, que debería haber disminuido en la misma proporción y ser menor que las precedentes, no ha sido así, sino que todavía ha aumentado su valor. Quizás al ver las lecturas el asombro no sea grande, mientras que sí lo es cuando llevamos los valores al gráfico viendo el estrangulamiento que sufren ambas potencias en el punto **D'** — **D**, y al deducir que el factor de potencia que corresponde a esos valores es de 0'79, inferior al resto de ellos que son de 0'85 en ambos gráficos de potencia activa, reactiva y cos φ, se destaca la anomalía producida. En realidad los gráficos de potencia reactiva y el del factor de potencia debieron de seguir la línea de puntos del gráfico, cosa que hubiese ocurrido de no haber fusibles fundidos; una vez repuestos, en las lecturas sucesivas se observa la proporcionalidad de ellas con tendencia a disminuir las dos a un mismo tiempo manteniendo el factor de potencia constante en 0'86. Caso de no querer determinar el factor de potencia por los métodos de cálculo o por tablas y sí desear saber en todo momento su valor, se instala el aparato denominado fasímetro.

Recargo de energía reactiva en función del factor de potencia.

Cos φ	0'9	0'85	0'75	0'70	0'65	0'60	0'55	0'45
Recargo %	0'98	0	3	10	17	25	33	38

$$\text{Cos } \varphi = \frac{KW}{KVA}$$

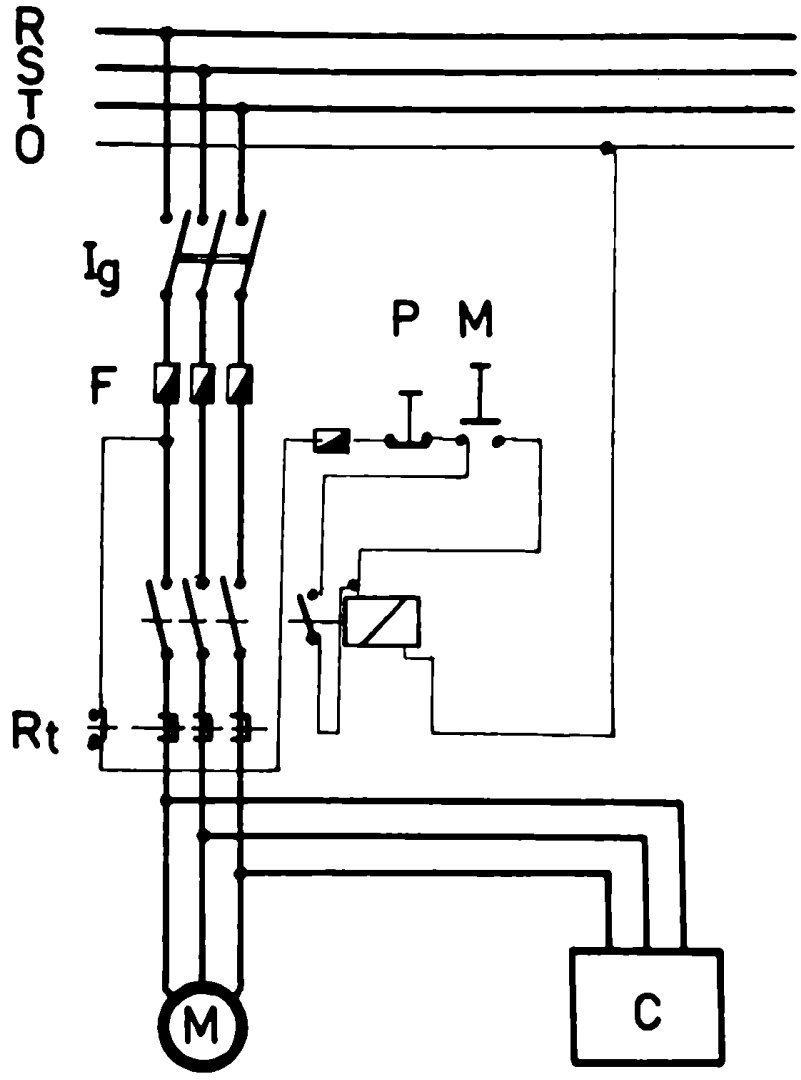
CONEXION DE UN CONDENSADOR FIJO

Las máquinas eléctricas de corriente alterna de tipo inductivo, como lo son todos los motores de inducción, transformadores, reactancias, máquinas de soldadura eléctrica, etc., consumen de red una corriente total, la que se desdobla en otras dos corrientes, llamadas: primera, la corriente activa o útil, que es la que produce el trabajo mecánico del motor; la segunda es la corriente magnetizante, cuya misión es la de producir el flujo inductor del campo magnético sobre el que el rotor es arrastrado.

Como se ha visto en la introducción a este capítulo, ambas corrientes producen una potencia cada una y la composición geométrica (no aritmética) de la potencia total o aparente del vector; la corriente activa produce la potencia activa en KW, y la corriente magnetizante o reactiva nos produce la potencia reactiva en KVAR. Se ha dicho que la composición de las dos potencias nos da la otra tercera potencia, la aparente en KVA; si las relacionamos nos da: $\overline{KVA}^2 = \overline{KW}^2 + \overline{KVAR}^2$. Las potencias activa y aparente nos forman un ángulo φ llamado factor de potencia cos $\varphi = \frac{KW}{KVA}$, según dice la trigonometría. Como la verdadera potencia productora de trabajo útil es la activa KW y la total o aparente es KVA, si se consigue que ambas sean próximamente iguales KW = KVA, entonces cos $\varphi = 1$, es decir, $\varphi = 0°$ y si el factor de potencia es la unidad, el rendimiento en potencia será óptimo; pero esto es imposible en las máquinas arriba citadas, ya que el factor de potencia cos φ suele oscilar de 0'6 a 0'8 y para conseguir que llegue a la unidad o a 0'85, es necesario utilizar unos aparatos llamados condensadores, los cuales nos suministran la corriente magnetizante o reactiva sin necesidad de consumirla de línea.

Puede conseguirse dicha mejoría con motores sincrónicos o con compensadores; estos últimos son los más convenientes y de ellos tratamos en este ejercicio. Son aparatos estáticos, sin ningún movimiento, montados en derivación con los motores de inducción; el montaje difiere si se trata de baterías de condensadores o de un solo condensador acoplado a un motor, como es el esquema presente; en él, el condensador va acoplado a los bornes o entrada del motor, y cuando se para el motor, como el condensador está cargado, se descarga sobre el mismo devanado del motor; otros como se verá, lo hacen sobre unas resistencias. Ponemos el motor en marcha al pulsar el botón **M** y el circuito de mando excita a la bobina del contactor, el cual conecta el motor y condensador a línea; el condensador, mientras el motor está en marcha, produce la potencia reactiva que no habrá que pagar por facturación. Es peligroso tocar el motor y condensador sin que antes se haya descargado éste.

CONEXION DE UN CONDENSADOR FIJO



CONEXION DE UN CONDENSADOR CON CONTACTOR

Se ha visto la conexión directa de un condensador estático a un motor. Puede intercalarse en un circuito mediante un contactor, de forma que cuando el motor se pare no reciba éste la descarga del condensador, sino que se realice a través de unas resistencias de descarga (r) en derivación con los propios condensadores, según se presenta en el esquema que tratamos.

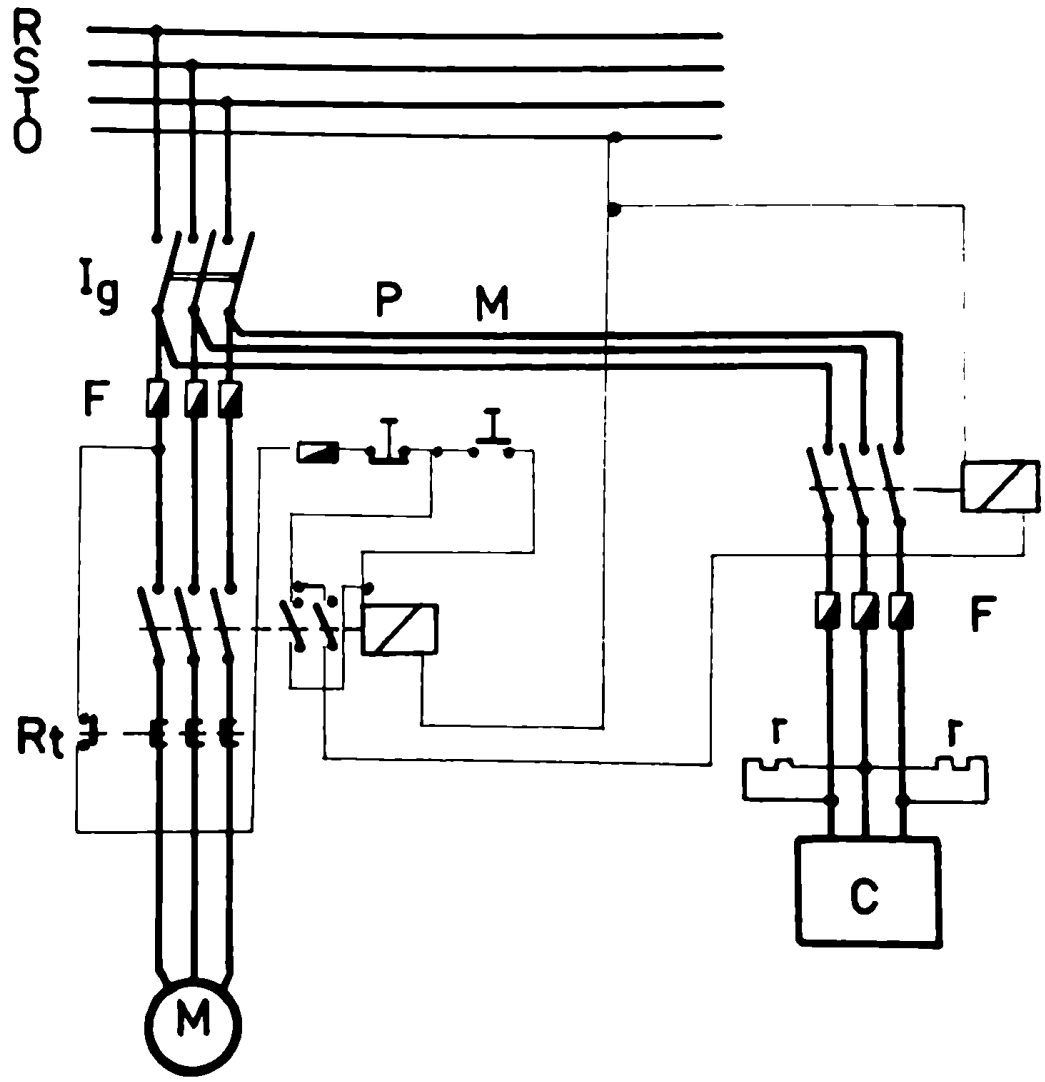
El motor posee una puesta en marcha y paro correspondiente a los ya estudiados en otros ejercicios y además lleva un contacto auxiliar abierto en reposo que, al cerrar el contactor, pasa la corriente de mando por él y excita la bobina del contactor, el cual nos pone en servicio el condensador o batería de condensadores. Otros tienen su grupo correspondiente de fusibles. Caso de pararse el motor, bien por disparo del relé o al pulsar el botón **P** de paro, el condensador queda fuera de servicio como se ve, en el instante la corriente magnetizante queda cortada y el condensador quedará cargado con el consiguiente peligro mortal, a no ser lleve las resistencias de descarga de la citada corriente que se cierra en circuito con el propio condensador.

Las compañías distribuidoras de energía eléctrica disponen en las instalaciones de dos contadores, uno de energía activa y otro de reactiva. Las lecturas de las dos son facturadas al precio que hay establecido para cada clase de potencia. Ahora bien, la potencia reactiva puede, como se ha indicado, anularse en el consumo al montar condensadores, por lo que se obtiene una gran economía. Las Delegaciones de Industria establecen que las Compañías de distribución de energía eléctrica obliguen a montar un contador de reactiva, siempre que el factor de potencia sea inferior a 0'85; por ello, en toda instalación con el factor de potencia inferior a 0'85 deben instalarse condensadores para mejorarlo; caso contrario, la potencia activa irá recargada según un coeficiente de corrección, al que se valora en función del factor de potencia obtenido y es:

Factor de potencia	Coeficiente
0'85	1'00
0'80	1'06
0'75	1'13
0'70	1'21
0'65	1'30
0'60	1'40
0'55	1'52
0'50	1'66
0'45	1'82
0'40	2'00

Aparte de la economía por facturación se obtienen otras muchas mejoras en la instalación, como reducción de pérdidas, mejora la tensión de línea, mayor disponibilidad en la instalación para aumento de potencia, o la sección de línea irá menor cargada de corriente y la densidad será menor.

CONEXION DE UN CONDENSADOR CON CONTACTOR

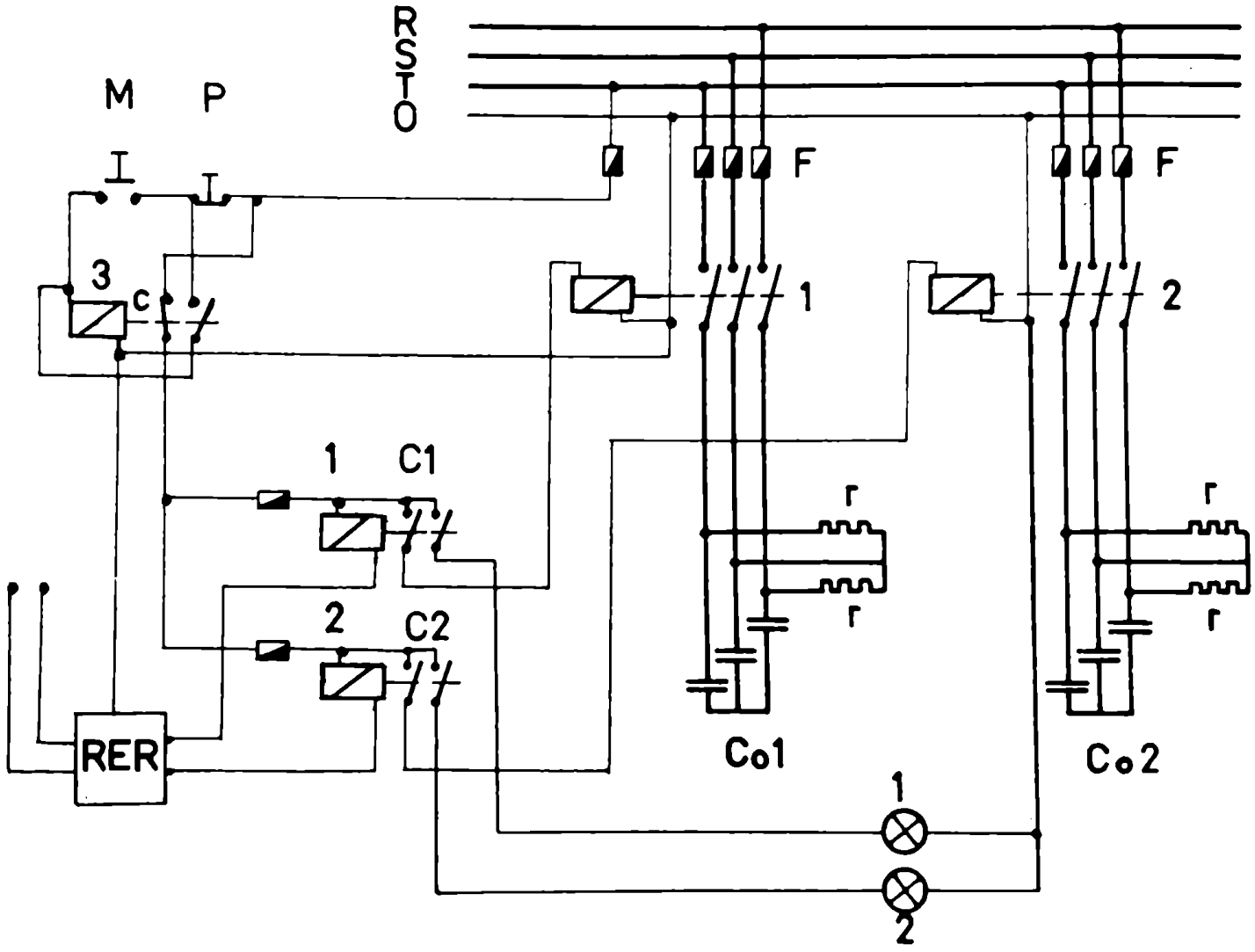


INSTALACION AUTOMATICA DE CONDENSADORES

La instalación de condensadores es muy compleja cuando se trata de instalaciones grandes y con motores de diferentes potencias.

Cuando la instalación de un condensador se realiza únicamente para un motor sólo, el problema es sencillo; una vez calculado y elegido se monta como se ha visto en los esquemas anteriores; cuando hay varios motores deben agruparse por potencias similares y, a ser posible, con tiempos de funcionamiento iguales, pues si un grupo de condensadores compensan el factor de potencia de un sector y los motores se paran en parte sin hacer lo mismo con los condensadores, resulta que éstos trabajan prácticamente en vacío, sin rendimiento. Lo ideal de una instalación con muchos motores, para evitar que trabajando unos pocos deban estar conectados todos los condensadores, es montar un regulador de energía reactiva, el cual va desconectando y conectando condensadores a medida que la energía reactiva va bajando o subiendo, respectivamente. Vamos a ver el caso de dos baterías de condensadores en una línea, los que se desconectan a medida que la energía reactiva baja. En una red trifásica se necesitan dos baterías de condensadores, la **1** y la **2**, pero unas veces habrá una y otras dos en trabajo, según esquema; una vez alimentado el regulador de energía reactiva **RER**, a esta entran las salidas de las dos bobinas **1** y **2**; si la energía reactiva está subiendo, ésta dará lugar a conectar el contactor, y los contactos C_1 se cerrarán, dando paso a la corriente que alimenta el contactor que conecta al condensador **Co**1 y el otro contacto enciende el piloto **1**, señalizando el funcionamiento del condensador **Co**1. Si es insuficiente conectará el contactor y contactos C_2 que ponen en servicio el **Co**2 y su piloto señal **2**, y así quedan los dos trabajando mientras que los cuatro contactores están conectados; si la energía reactiva necesaria baja por desconexión de motores en línea, el regulador va abriendo contactores, el **1** y **2**, los que al abrir los contactos C_1 y C_2 desexcitan las bobinas de los contactores de trabajo de los condensadores **Co**1 y **Co**2.

Si por cualquier necesidad los condensadores deben ponerse fuera de servicio se pulsa en **M** y el contactor **3** abre el circuito en **c** que los regula. Cada batería de condensadores posee en derivacion las resistencias de descarga **r** al ser desconectados.


R
S
T
O
M
P
I
I
3
c
F
F
1
2
1
C1
2
C2
r
r
r
r
RER
Co1
Co2
1
2

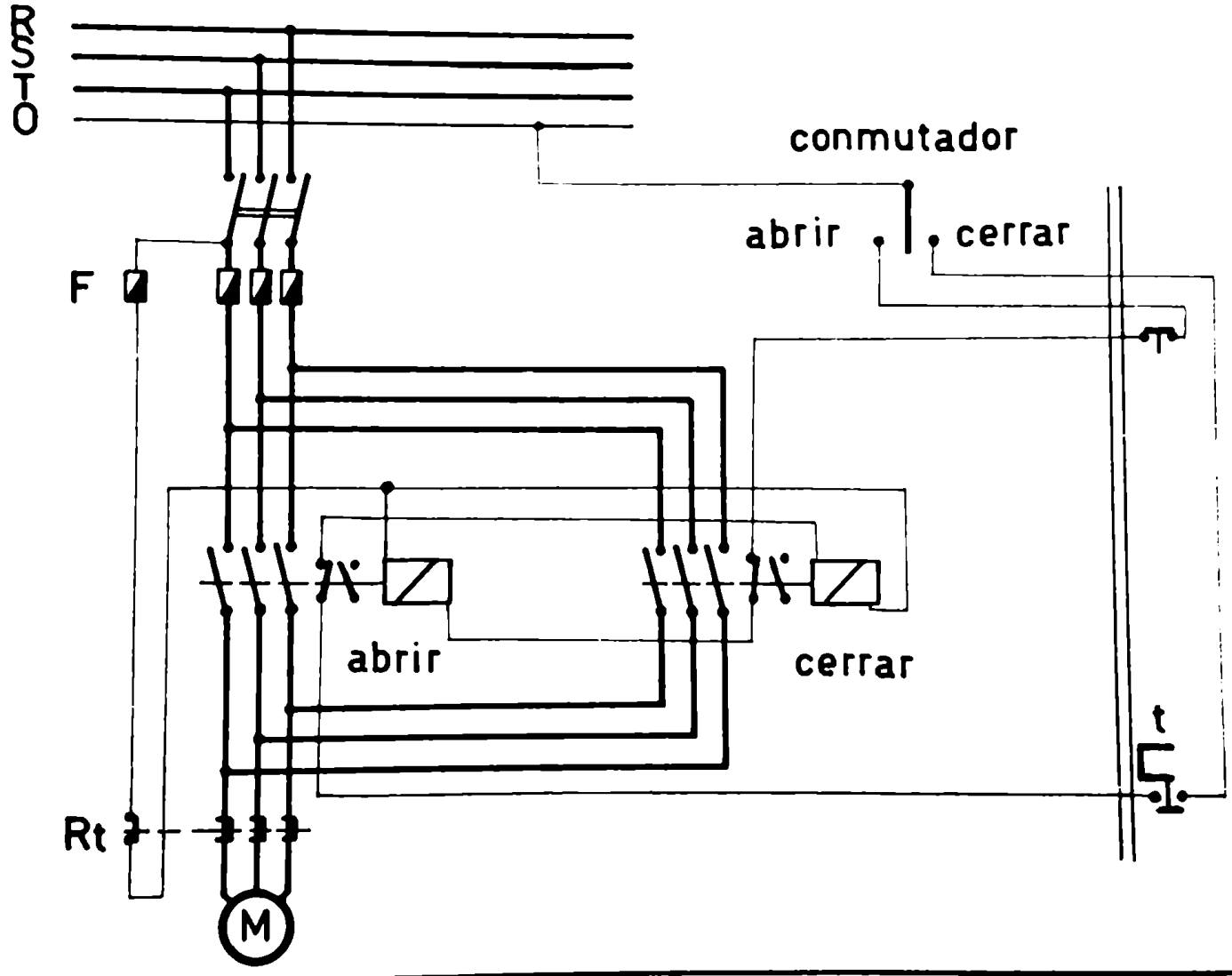
INSTALACION AUTOMATICA DE PUERTAS

En varios ejercicios de esta obra se ha hablado del funcionamiento de los contactores de inversión para el cambio de sentido en el giro de un motor y aprovechar el desplazamiento a izquierdas y derechas de una máquina, que puede ser herramienta de taller, grúas-puentes, ascensores, montacargas, polipastos, compuertas, etc.

El presente esquema representa el mecanismo de dos contactores de inversión para accionar un motor cuya misión es el abrir y cerrar unas puertas: una persiana que puede pertenecer a un garaje, almacén, tienda, local, etc. Supongamos se trate de una persiana enrollable de un garaje, el que abriremos y cerraremos desde un patio, pasillo, local, o desde el interior del mismo garaje, depende de los casos.

La instalación consta en primer lugar de un motor cuya potencia para una persiana tipo medio puede ser de 0'25 CV a 220 V 50 Hz, con una intensidad de 1'1 A. Los contactores pueden ser de I.C.T.A. R-6, el relé térmico de 1 a 1'3 A, regulado a la intensidad normal de 1'1 A. El motor no puede aplicarse directamente al eje enrollable de la persiana, ya que requiere una reducción y luego una transmisión con piñones y cadena para que la persiana suba y baje a una velocidad normal; además, se necesitan: dos finales de carrera para parar el motor cuando la persiana llegue, al abrirse, arriba, y al cerrarse, abajo, cortando la corriente de la bobina correspondiente; un interruptor conmutador para seleccionar la apertura o cierre, y los fusibles de protección contra cortocircuitos.

En el esquema consideramos que la persiana se encuentra cerrada, porque el tope abrió el final de carrera al cerrarse; ahora queremos abrirla, para lo cual pasamos el conmutador del punto en que se encuentra de paso al de abrir izquierda, la corriente pasará de fase **T** a fusible **F** de mando, relé de protección **Rt**, bobina de abrir, contacto auxiliar cerrado de la bobina de cerrar final de carrera superior, al conmutador y neutro; este será el circuito de subida de persiana, y mientras ésta sube, el contactor en trabajo, el de abrir, abrió el contacto auxiliar, que sirve de enclavamiento para el otro contactor; además se cerró el final de carrera inferior, y cuando la persiana llega arriba, el tope (**t**) abre el final de carrera superior, parando el motor; ahora la cerramos, y para ello pasamos el conmutador a la derecha, posición de cerrar, y el circuito se repite igualmente que antes, con la diferencia de que ahora actúa el otro contactor y también pasa por el contacto auxiliar del de abrir, y cuando llega abajo el tope abre el final de carrera que estaba cerrado desde que se empezó abrir y parar el motor. Siempre el circuito que actúe debe pasar por la bobina de un contactor, por el contacto auxiliar del otro y por un final de carrera; si uno se avería no se podrá abrir o cerrar, según al que corresponda.

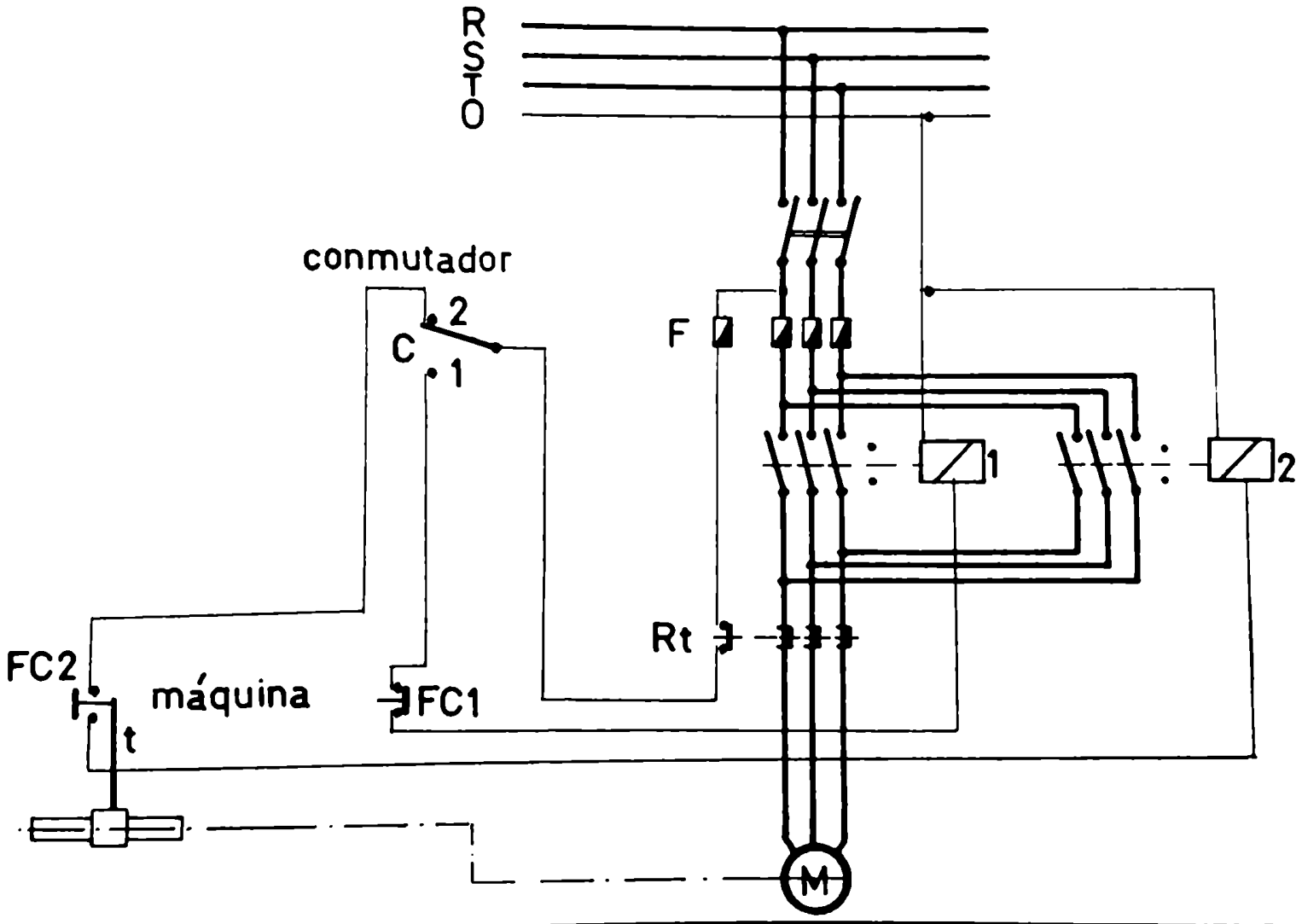

R
S
T
O
conmutador
abrir
cerrar
F
abrir
cerrar
t
Rt
M

AUTOMATISMO DE ELEMENTOS MECANICOS

El conjunto de dos contactores montados para la inversión del sentido de giro, como ya se explicó, tiene infinidad de aplicaciones prácticas en la industria. En el ejercicio anterior vimos la instalación de un motor reductor para la apertura y cierre de una persiana de garaje.

Como ejemplos prácticos podemos citar la traslación de las cribas de molienda de un motor de molino, la tajadera de descarga de un arrastrador de granos y harinas, la compuerta de una mezcladora de harinas, mezcladora de grava y cemento, de una mariposa de cambio de la caída de un elevador y de una rosca, de un cepillo puente, de un torno, de una fresadora y de otras muchas máquinas industriales.

El esquema que vamos a explicar puede decirse que es de una de las máquinas anteriores citadas; se trata del mecanismo de un husillo que se traslada de izquierda a derecha y viceversa, cuyo cambio de sentido lo regulan dos finales de carrera, los cuales son accionados por una pletina o tope en movimiento; este mecanismo no es continuo, es decir, que llegado a un extremo se para la máquina y si queremos la inversión de giro debe manipularse el conmutador **C**. Colocamos el conmutador en el punto **1** inferior y la corriente pasa de la fase **R** al fusible de mando **F**, relé **Rt**, conmutador **C**, final de carrera **FC1** y bobina **1**; el motor gira en un sentido, el husillo gira hacia la derecha y cuando llega el tope al **FC1** abre el circuito parando el motor, al ponerse en marcha el final de carrera **FC2** se cerró y preparó el circuito siguiente; pasamos el conmutador a la posición **2**, superior, y en este caso la corriente llega al conmutador como antes, pasa por el **FC2**, final de carrera y bobina **2**; ésta pone el motor en sentido contrario de giro y el husillo se desplaza de derecha a izquierda, en cuanto mueve cierra el final de carrera **FC1** y cuando termina el recorrido abre el **FC2**, abriendo el circuito y parando el motor. De esta forma, cada vez que actuamos el conmutador el motor girará en un sentido y parará automáticamente.


R
S
T
O
conmutador
C
2
1
F
1
2
Rt
FC2
máquina
t
FC1
M

ACCIONAMIENTO DE COMPUERTA, MARIPOSA, etc.

Generalmente en todos estos accionamientos mecánicos suele emplearse un motor reductor, con el fin de reducir la velocidad de salida, que resulta siempre inferior a la necesaria. Tal es uno de los casos que se va a describir. Es preciso el accionamiento de una tajadera o compuerta que se desplace a un metro durante diez segundos; calcularemos el resto de elementos así:

$$t = 10 \text{ seg.}, \quad e = 1 \text{ m.},$$

la velocidad de traslación será

$$V = e : t = 1 : 10 = 0{,}1 \text{ m/seg.}$$

Esta velocidad, que es la de la compuerta y de su cremallera, lo será también del piñón que engrana con ella, luego dicho piñón será de

$$V = \frac{2 \pi R n_3}{60} = 0{,}1 \text{ m/seg.}, \quad R = \frac{0{,}1 \times 60}{2 \pi n_3}$$

que calcularemos luego.
El motor puede ser de 0,5 CV 220/380 V a 1.500/60 r.p.m., llevando un piñón con transmisión de cadena de $P = 5/8''$ simple, se calcula primero el piñón de salida del motor.

$$n_1 = 60 \text{ r.p.m., damos } Z_1 = 11 \text{ dientes .}$$

Si al otro piñón de la reducción de cadena se le da $Z_2 = 25$ dientes, su velocidad será

$$n_2 = \frac{11 \times 60}{25} = 26{,}4 \text{ r.p.m.}$$

Este piñón, acoplado con un eje nuevo al engranaje de diente recto de la cremallera, será de

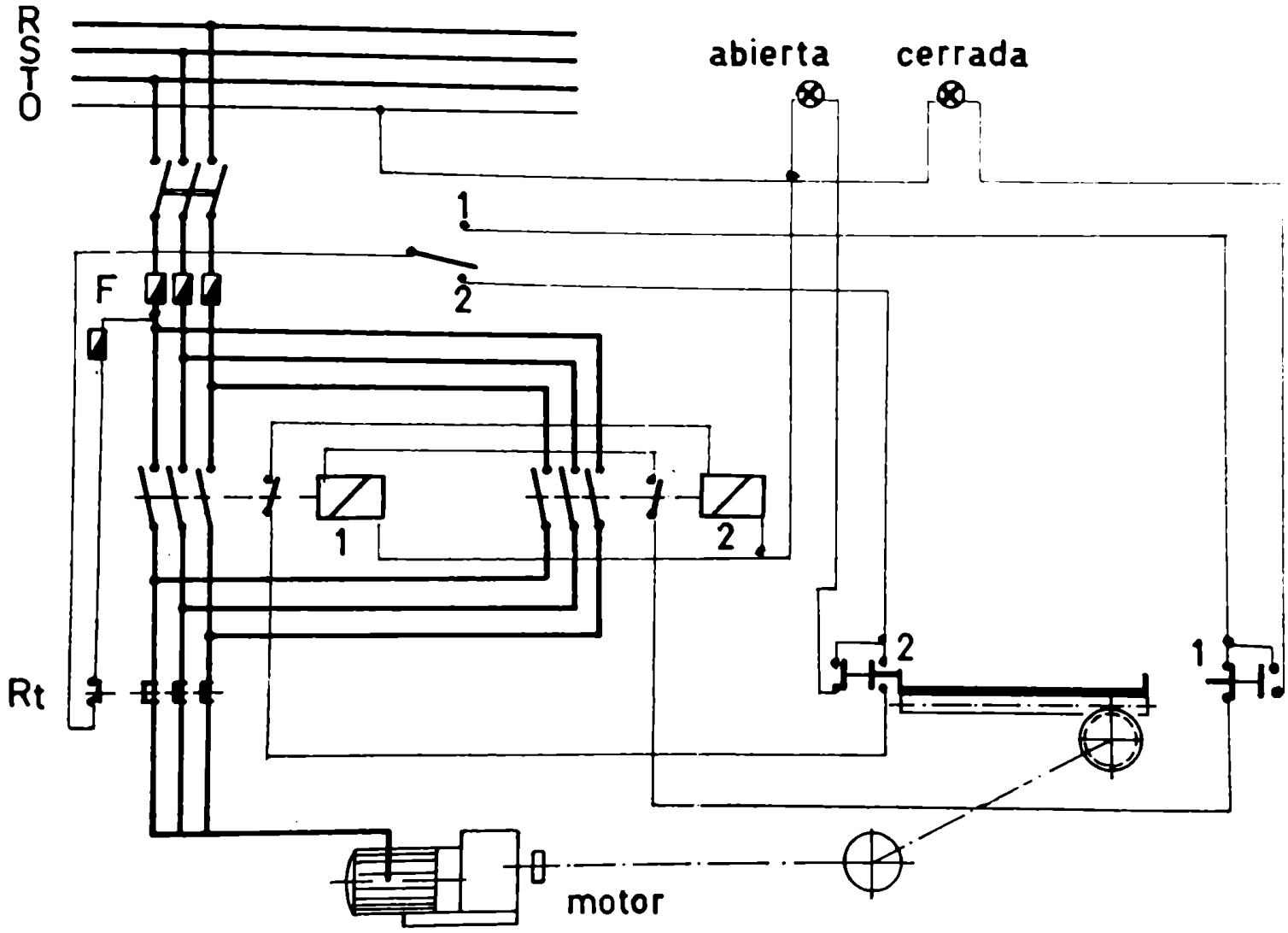
$$\text{radio } R = \frac{0{,}1 \times 60}{2 \pi n_3} = \frac{0{,}1 \times 60}{6{,}28 \times 26{,}4} = 0{,}036 \text{ m} = 36 \text{ mm.}$$

de radio primitivo.
Fijemos el módulo en $M = 3$ mm y el número dientes será

$$Z = \frac{Dp}{M} = \frac{72}{3} = 24.$$

Pasando el conmutador a la posición **1** se cierra el circuito por el final de carrera **1** y bobina **1**; la cremallera se traslada de izquierda a derecha, y cuando llega a su final abre el **1** parándose, pero conmuta el piloto que señaliza compuerta cerrada. Para abrirla se pasa el conmutador a la posición **2**, el circuito de mando cierra por el final de carrera **2**, que quedó en posición cerrado y abierto el del piloto, y pasa a las bobinas **2**; la cremallera se traslada de derecha a izquierda, y cuando llega al final **2** lo abre y se para el motor, mientras que se cierra el contacto del piloto y señala compuerta abierta.

ACCIONAMIENTO DE COMPUERTA, MARIPOSA, etc.



INSTALACION DE APERTURA Y CIERRE DE UNA VALVULA

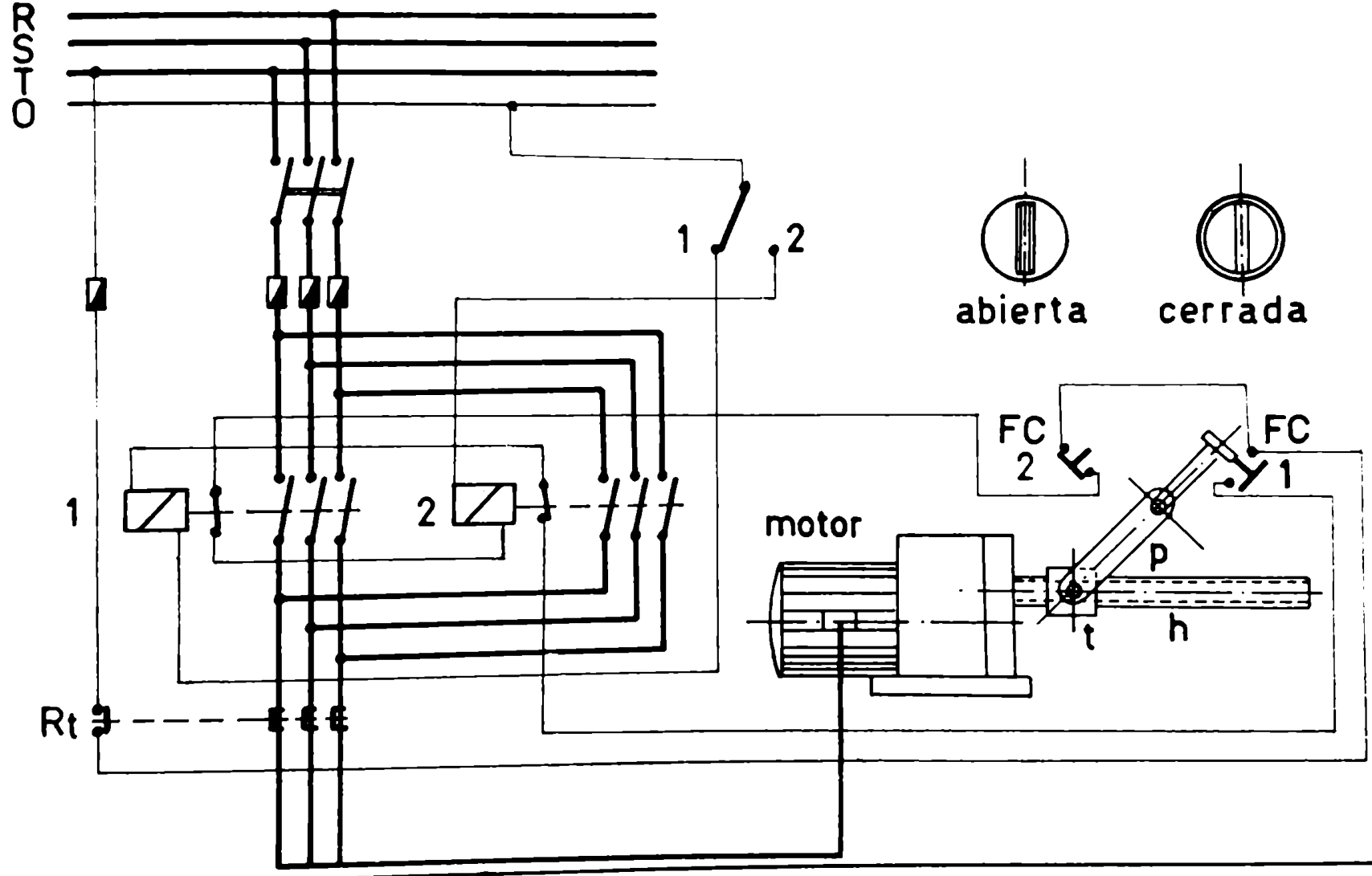
El presente ejercicio representa la instalación de un juego de contactores para la inversión del sentido de giro de un motor que acciona la apertura y cierre de una válvula; ésta tiene dos posiciones: cerrada y, girando solamente 90°, abierta; de esta forma, y como se verá, se puede abrir y cerrar a distancia, teniendo únicamente a mano un pulsador o, a voluntad, se puede montar mediante dos pulsadores de inversión.

El problema consta de la necesidad de abrir y cerrar una válvula o una mariposa que intercepte el paso de un líquido, o de áridos en el segundo caso; en una tubería debe maniobrarse a voluntad y a distancia, y para ello, teniendo en cuenta que estos elementos tienen un giro sólo de 90° (ver detalle en el esquema), dispondremos en el eje de la válvula o mariposa una palanca (**p**) con giro, acoplada a una tuerca (**t**), la que es trasladada girando la palanca por medio del giro de un husillo (**h**), prolongación del eje de salida del reductor.

El conjunto motor-reductor puede tener una relación de 1.500/60 r.p.m., y, según el paso y número de entradas del husillo, el cierre y apertura será más o menos rápida. El motor trifásico de 127/220 V o 220/380 V, según línea de alimentación, accionado a través de dos contactores de inversión, el **1** y el **2**; un protector de sobreintensidad relé **Rt**, y un conmutador y dos finales de carrera, **FC**1 y **FC**2.

Describimos, por ejemplo, la apertura de la válvula. En la posición del esquema suponemos que está cerrada, pasamos el conmutador a la posición **2** y el circuito quedará establecido así: fase **R**, relé **Rt**, final de carrera **2**, contacto auxiliar del contactor **1**, bobina **2** y conmutador; la bobina **2** se excita y cierra el contactor, funcionando el motor en el sentido de apertura; el motor se parará al llegar a su final de carrera **2** y abrir sus contactos. Para cerrar se invierte el conmutador; el final de carrera **FC**1 ahora está cerrado, para facilitar la siguiente operación.

INSTALACION DE APERTURA Y CIERRE DE UNA VALVULA



ESQUEMA DE UN ASCENSOR

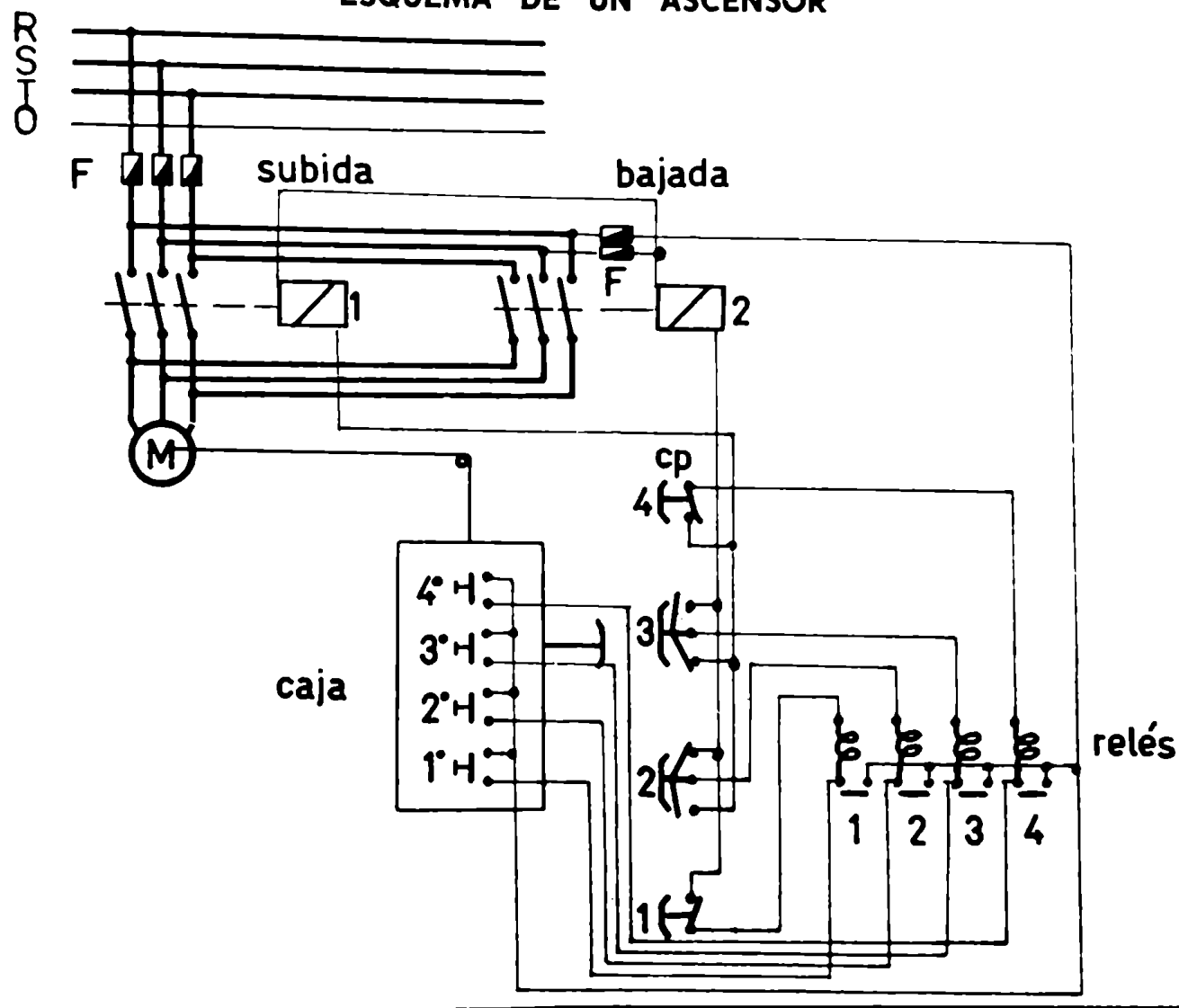
El ascensor en su principio más sencillo consta de un circuito de trabajo en inversión, dado que la cabina tienen que subir y bajar y el motor precisa invertir su sentido de giro, lo que se consigue con dos contactores en los que dos fases están cambiadas entre sí para uno de ellos. En la cabina vemos un conjunto de contactos o botonera todos abiertos, puesto que son pulsadores para poner en funcionamiento el ascensor o montacargas; fuera y en cada una de las puertas van colocados unos balancines con doble contacto de subida y bajada, son los contactos de puertas $\mathbf{C_p}$, los que seleccionan el cambio de contactor para el sentido de giro y, por lo tanto, la subida o bajada; luego hay tantos relés como contactos de puerta y pulsadores, ya que son los encargados del mantenimiento de la corriente de excitación de los contactores que siguen con circuito alimentado al dejar de pulsar. Un juego de fusibles aseguran la protección, aunque también debe montarse un relé de protección. Generalmente los relés de mantenimiento son alimentados por corriente continua mediante un rectificador instalado en el cuadro de maniobra.

El funcionamiento es como sigue:

El ascensor se encuentra, según esquema, en el tercer piso; queremos subir al cuarto o último, y para ello pulsamos en el 4.° y la corriente pasa por fase **R**, pulsador accionado 4.°, relé de sostenimiento 4, contacto $\mathbf{C_p}$ 4 a bobina **1**, o sea de subida, y se pone en marcha; al llegar arriba, el contacto de puertas $\mathbf{C_p}$ 4 es abierto y para; el mantenimiento, al dejar de pulsar, lo hace por el contacto 4 del relé, por lo que ya no pasó la corriente por el botón de cabina 4.°. Se observa que, al subir, debe de ir conectando los contactos superiores de los balancines que aseguran los circuitos de mando para la bajada y, al bajar, irá cerrando los contactos inferiores de los balancines, asegurando los circuitos de mando para la subida; es decir, cada contacto de la parte superior corresponde al contactor de bajada y los de la parte inferior al contactor de subida.

En este caso, si al pulsar un botón no acciona el motor y la cabina permanece inmóvil, puede ocurrir: que no haya fuerza, que los fusibles estén fundidos, que el pulsador de la cabina no funcione, que el contacto del patín en puertas **Cp** del piso al que vamos no conecte bien, que el relé esté quemado o que su contacto no conecte bien.

ESQUEMA DE UN ASCENSOR



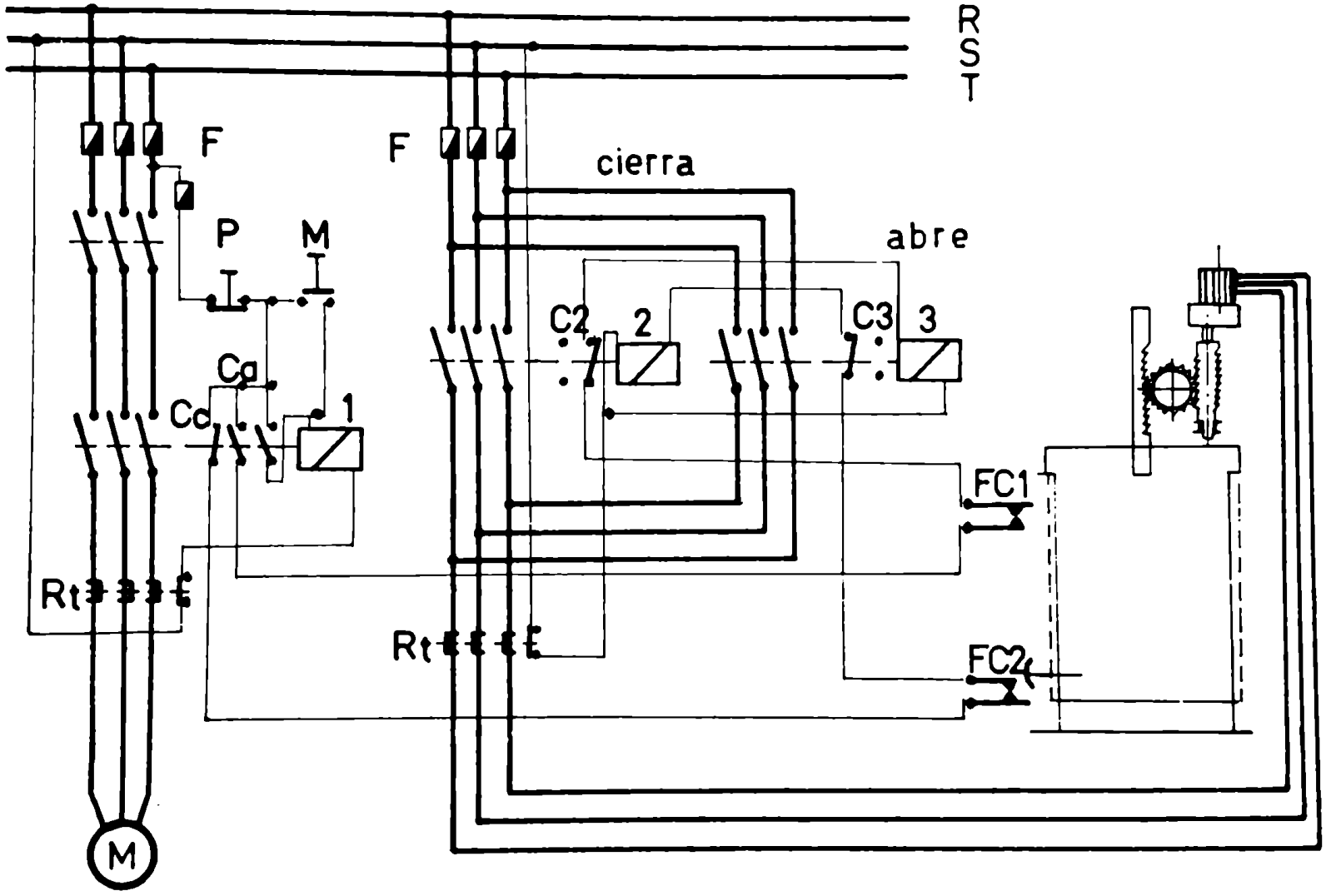
MANDO AUTOMATICO DE UNA COMPUERTA Y MOTOR

Prácticamente en la industria se presentan muchos problemas combinados de distintos movimientos a controlar, tal es el del esquema que tratamos aquí, dentro de otros muchos parecidos; en él se dispone de una rosca extractora o de una cinta trasportadora sobre la cual descarga una tolva, un silo, etc., de cualquier material, en fábricas de harinas, de piensos, de cal, graveras, obras hidráulicas, etc. Debe conseguirse que la tolva no pueda descargar el producto sin antes estar la cinta en marcha, y debe cerrarse cuando la cinta se pare, asegurando que no haya atascos y averías, lo que significa el enclavamiento del motor que abre la tolva con el motor de la cinta; veamos su funcionamiento.

La cinta dispondrá de un motor cuyas características dependan de las dimensiones de la cinta y del producto a transportar; la compuerta tendrá un motor de menor potencia, pues se limita a subir y bajar la misma; ambos motores tendrán su correspondiente reducción; el de la compuerta, como se ve, tiene un husillo que mueve un piñón y éste hace descender o subir a la cremallera solidaria a la compuerta.

El motor de la compuerta no puede ponerse en marcha, pues está enclavado, pero si pulsamos la puesta en marcha **M**, la bobina **1** se excita y la cinta se pone en movimiento; al entrar su contactor cerró los contactos auxiliares de permanencia y el de mando **Ca**. Para abrir la compuerta, el circuito es el siguiente: fase **T**, pulsador **P**, contacto **Ca**, final de carrera **FC**1, contacto auxiliar C_2, bobina **3**, relé **Rt**, fase **S**. En este momento se excita la bobina **3**, entra su contactor y abre la compuerta; cuando ésta llega a su punto superior, un índice tope abre el **FC**1, parando el motor; de esta forma, la cinta sigue alimentándose hasta que se desee parar pulsando en **P** y el motor de la compuerta cerrará ésta y el de la cinta la para, veamos como: al abrir el contactor **1** cierra el contacto auxiliar **Cc**, el que da paso a la corriente por el **FC**2, contacto auxiliar C_3, bobina **2**, relé **Rt**, fase **S**, y la compuerta cierra, parándose el motor al llegar al índice y abrir el **FC**2.

MANDO AUTOMATICO DE UNA COMPUERTA Y MOTOR



ACCIONAMIENTO REGULADO DE UNA MARIPOSA

Otra instalación práctica aplicada en la industria la tenemos en el esquema presente, Se trata de abrir y cerrar una mariposa que da paso a aire, gases, humos, polvo, etc., en la aspiración de un aspirador centrífugo con objeto de regular el consumo y la aspiración. El tubo es atravesado por un eje y en su interior un círculo de mariposa; en la prolongación del eje se montan los índices de empuje a los finales de carrera, una rueda dentada y un sinfín movido por un sistema de reducción a la salida del motor.

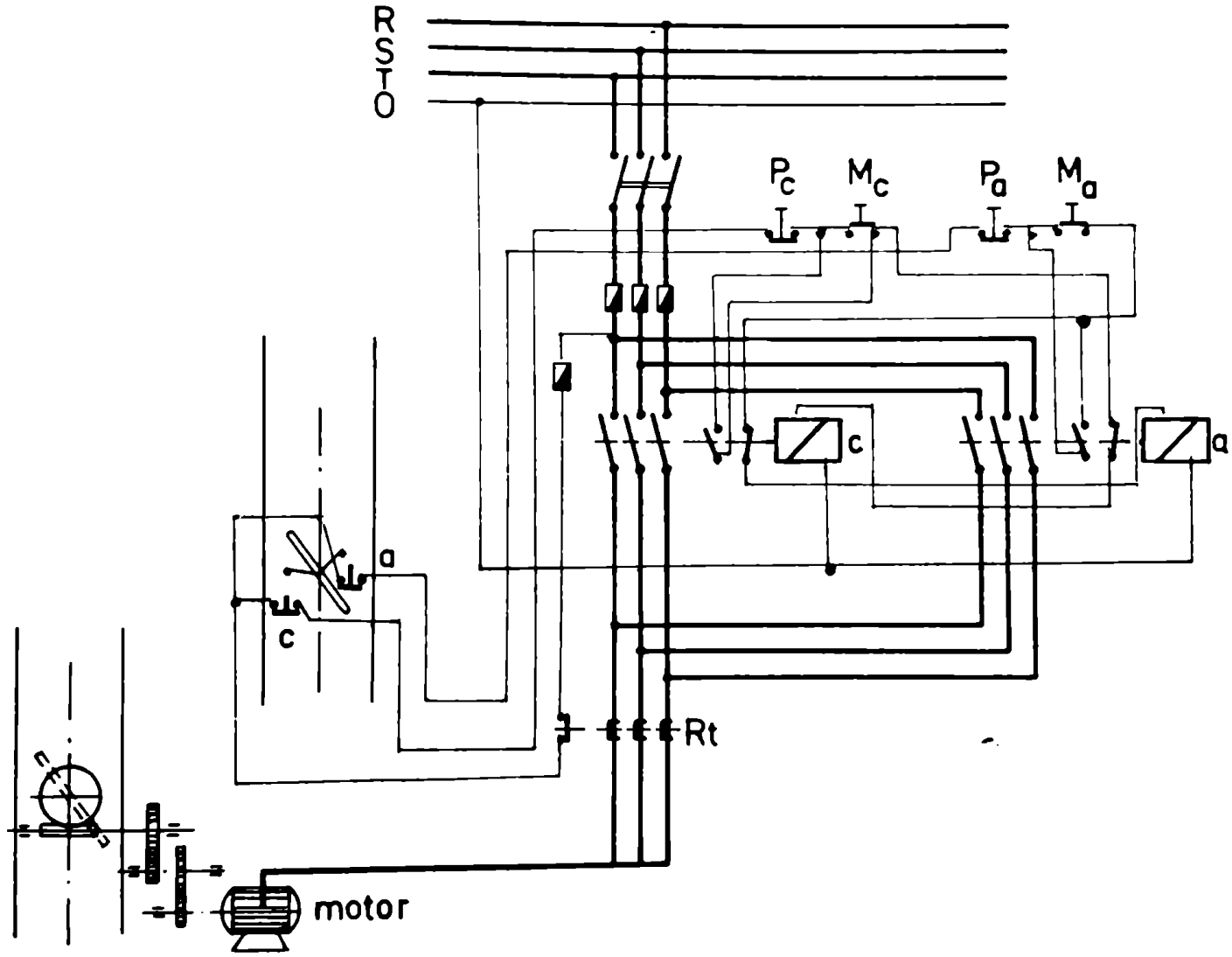
El resto de instalación es similar a otras ya descritas; esta consta de dos juegos de pulsadores de paro y marcha, una para el cierre de mariposa y otro para la apertura; en realidad, pulsadores de paro no hacen falta, pero teniéndolos se obtiene la variante de parar el motor para que la mariposa no cierre del todo o no abra totalmente. Si cuando está abriendo, en vez de esperar a que abra del todo llegando la mariposa a abrir el final de carrera se pulsa en el pulsador **Pa**, la mariposa adoptará una posición intermedia.

Descripción de su funcionamiento:

Partiendo de la posición del esquema queremos cerrar totalmente la mariposa; para ello pulsamos en **Mc**, el circuito se cierra por fase **T**, fusible de mando, relé **Rt**, final de carrera (**c**), pulsadores **Pc** y **Mc**, contacto auxiliar del contactor (**a**), bobina (**c**) y neutro (**o**), es cuando el motor puesto en marcha y su sistema de reducción actúa sobre la mariposa girándola, y, en el momento de cerrarse, el índice abre el final de carrera (**c**) parando el motor. Si ahora se necesita abrir la aspiración se pulsa en **Ma**, el circuito de mando se realiza por fase **T**, relé, final de carrera (**a**), pulsadores **Pa** y **Ma**, contacto auxiliar del contactor (**c**), bobina (**a**) y neutro (**o**); el motor se pone en marcha hasta que el índice o tope abre el final de carrera (**a**) parando el motor. Caso de querer dejar la mariposa en la situación actual, se pulsa en **Pa** antes de finalizar su giro y abrir el final de carrera (**a**).

Se han dibujado dos tubos, uno para ver la colocación de los finales de carrera y otro para el sistema reductor; pero los dos son uno mismo.

ACCIONAMIENTO REGULADO DE UNA MARIPOSA



APERTURA Y CIERRE SEÑALIZADO DE UNA COMPUERTA

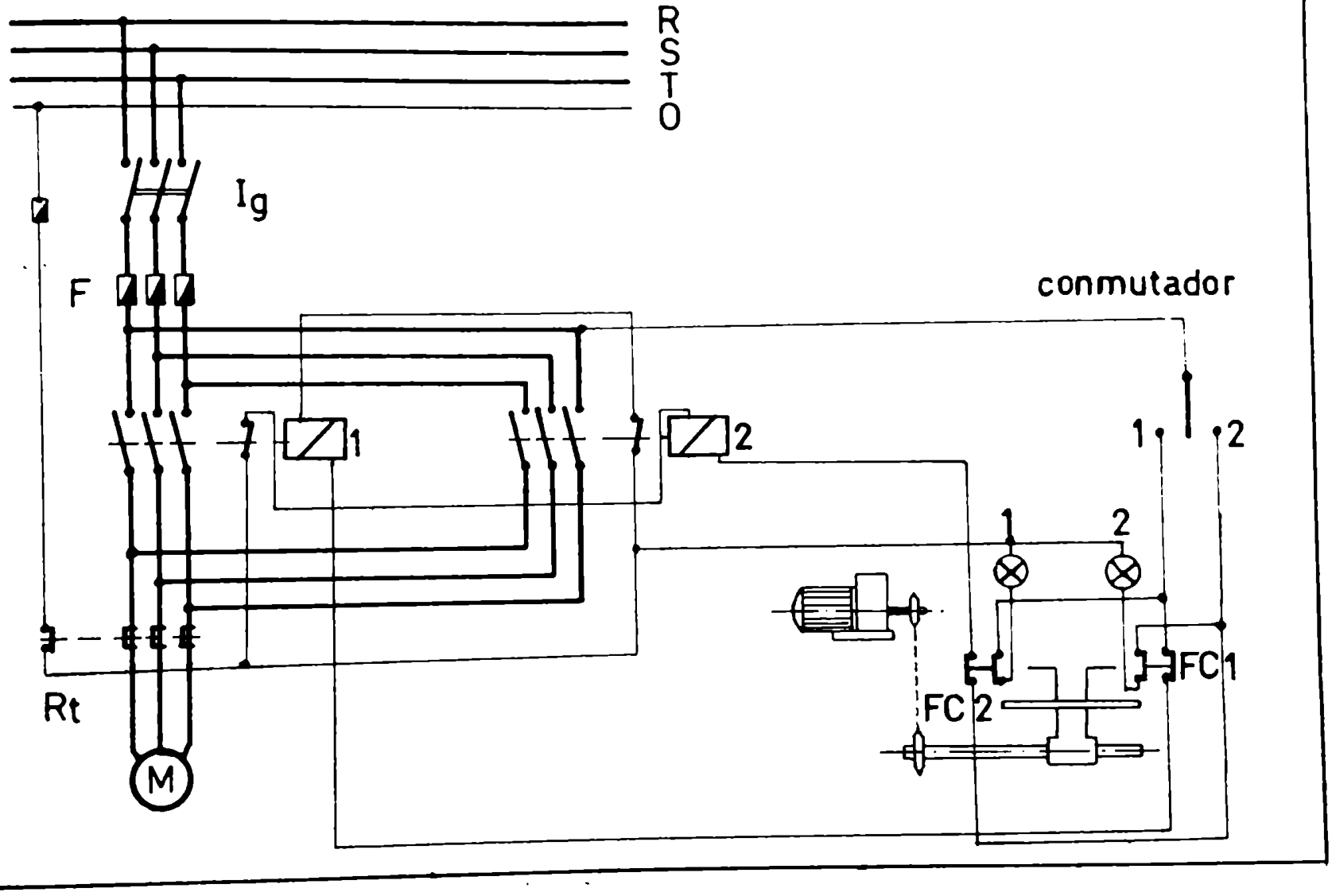
Tenemos una compuerta en el fondo de un depósito, silo, arrastrador, estanque, etc., y debe ser accionada automáticamente desde un punto a distancia señalizado, donde sólo habrá un conmutador y dos pilotos de señalización: uno que indica abierta y otro cerrada.

Cálculo de la parte eléctrica:

Esta compuerta podemos moverla con un motor de 0,25 CV, 220/380 V, corriente nominal **In** = 0,6 A a 380 V. No calculamos la sección del hilo porque nos saldría una sección muy pequeña, y en motores con cargas tan pequeñas se coloca hilo de 4 × 1 mm^2 de sección, muy superior al necesario; lo mismo nos ocurre con los contactores, ya que no es problema la elección de cálculos por ser cargas tan pequeñas, y por tanto un contactor de 6 A es más que suficiente.
El relé térmico **Rt** tendrá una regulación de 0,45 a 0,6 A, regulado a 0,6 A. Los fusibles, teniendo en cuenta que es un motor pequeño y el par resistente pequeño, consideramos una carga de arranque del 50 por 100, por lo que serán de 1,5 A. Dos pilotos de señalización de 10 w a 220 V, el fusible de mando de 4 A y un conmutador.

Parte mecánica:

El motor será reductor, por ejemplo, de 1.500/60 r.p.m., con un piñón con cadenas de transmisión simple de 1/2", Z = 15 dientes, el piñón conducido tendrá Z = 19 dientes, con una velocidad $n_2 = \frac{60 \times 15}{19} = 47$ r.p.m., quedando el husillo a 47 r.p.m. o un desplazamiento de 47 × 8 = 376 mm por minuto si el husillo tiene un paso de 8 mm. Si la compuerta tiene un recorrido de 376 mm tardará en abrirse o cerrarse un minuto.
Para abrirla se lleva el conmutador a la posición **1**, quedando el circuito cerrado por fase **R**, conmutador, final de carrera **FC**1, bobina **1**, contacto auxiliar del contactor **2**, **Rt** relé térmico y neutro. Ahora el motor funciona y abre, y, cuando llega a su final, el tope abre el **FC**1 y para el motor. El piloto marca señal de compuerta abierta, y cuando se invierta el conmutador, el motor girará en sentido contrario y quedarán cerrados los contactos del **FC**1, y el piloto **1** marcará compuerta cerrada, los contactos **FC**2 se abrirán y parará el motor. Durante la marcha del motor los dos pilotos estarán señalizando, puesto que los contactos de **FC**1 y **FC**2 permanecen cerrados.


R
S
T
O
Ig
F
conmutador
1
2
1
2
1
2
FC1
FC2
Rt
M

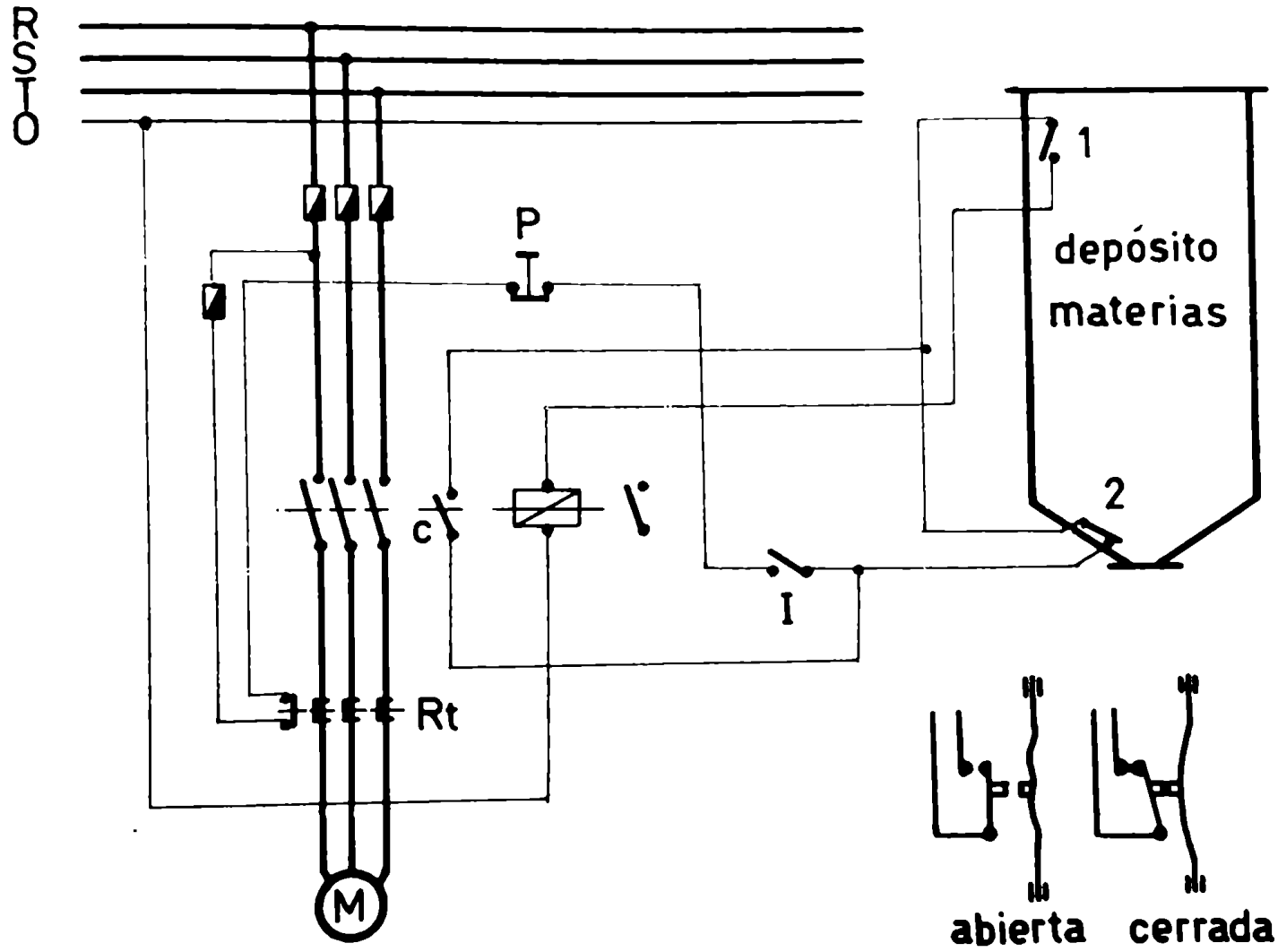
LLENADO Y VACIADO AUTOMATICO DE ARIDOS

Disponemos de un depósito de materias, como puede serlo de harinas, grano, áridos, etc. Se desea llenarlo y vaciarlo automáticamente, es decir, cuando queda muy poco en su fondo, que el motor se ponga en marcha y la cinta, transportador o elevador, empiece a llenarlo, y cuando el depósito o silo llegue a estar lleno, el motor que lo alimenta se pare.

Disponemos de la instalación con red trifásica, fusibles, contactor, relé de sobreintensidad **Rt**, un pulsador de paro **P** por si es necesario y un interruptor de bloqueo **I**; en el depósito se montan dos membranas, cuya misión es: la inferior, número **2**, cuando el nivel de las anteriores lo cubre está abierto el contacto del micro y cuando está sin producto, al dejar de empujar la membrana, ésta cierra el micro, quedando el circuito de excitación cerrado; la membrana superior número **1** permanece cerrada mientras que el nivel de producto no llegue a cubrirla; ahora bien, cuando la cubre abre el contacto del micro (ver detalle), el interruptor **I** sirve para dejar fuera de servicio la instalación y no se llena, aun estando vacío.

Consideremos que está vacío el depósito y cerramos el interruptor **I**; la corriente nos pasará por fase **R**, relé **Rt**, pulsador **P**, interruptor **I**, micro **2** (que está cerrado por no haber producto), micro **1** (que está cerrado también), bobina y neutro; la bobina se excita y el motor, habiendo cerrado el contactor, se pone en marcha, y el depósito se va llenando; cuando llega al micro **1**, el producto empuja a la membrana y se abre, parando el motor. Se hace constar que el micro **2** está cerrado cuando no hay producto, pero cuando empieza a llenarse y ser cubierto por él, se abre el contacto del micro, el circuito se realimenta por el contacto auxiliar de permanencia **c**, y el depósito queda lleno. Cuando por otro procedimiento ya explicado en ejercicio anterior se saque producto y llegue el nivel a descubrir el micro, éste se cierra y el **1** también se cerró al bajar dicho nivel, por lo que el motor vuelve a ponerse en marcha y llenarse otra vez. Caso de que un micro falle se puede parar pulsando en **P**, o mejor desconectando el interruptor **I**.

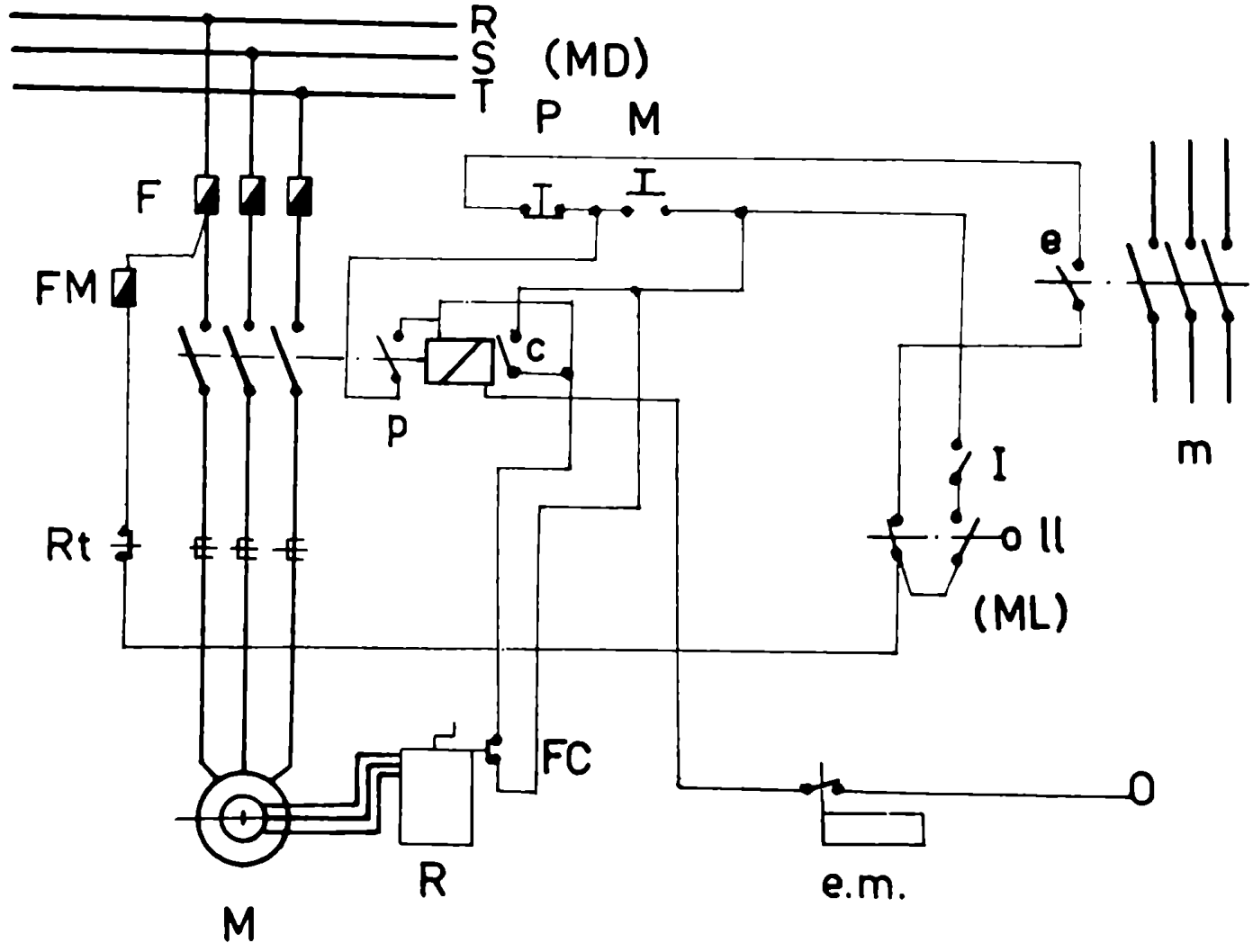
LLENADO Y VACIADO AUTOMATICO DE ARIDOS



MANDO LOCAL Y A DISTANCIA DE UN MOTOR

Generalmente la puesta en marcha de un motor suele ser a distancia, pero esto no quiere decir que la larga distancia represente muchos metros, ya que el mando a distancia puede ser desde el mismo motor hasta verdaderamente cientos de metros.
En fábricas y factorías donde se desee el mando a distancia se realiza desde una cabina, pupitre de mando o desde un cuadro cualquiera dentro del mismo local o planta, o desde distinta planta.
El esquema presente consta de dos mandos, el ya estudiado a distancia (**MD**) y el mando local (**ML**); este último es un mando muy útil, ya que con él se puede bloquear el mando a distancia de forma que no actúe; al maniobrar con la llave **ll** se abre el circuito de mando a distancia y el motor no se puede poner en marcha desde (**MD**); pero sí se puede con el mando local (**ML**) al darle al interruptor **I**; con esto cualquier avería que suceda se puede parar en (**ML**), reparar y probar al margen del mando a distancia con seguridad del que manipula en la máquina.
Este motor es de arranque por resistencia o de reóstato **R**. Lógicamente el mando local puede montarse en cualquier motor, ya que, como se vé, lleva varios enclavamientos, los que se van a enumerar:
El circuito de mando empieza por un fusible de mando **FM**, un relé de protección **Rt**, un final de carrera **FC**, que enclava el mando si el reóstato no está en el punto correspondiente al arranque. Una vez arrancado el motor, éste, aunque se abra, no ocurre nada, porque el mantenimiento se realiza por **p**; ahora bien, cuando se arranca con el mando local es necesario un contacto auxiliar (**c**) en derivación con el final de carrera **FC**; otro enclavamiento es el del mando local, que deberá estar cerrado en (**ML**) para ponerle en marcha a distancia desde (**MD**); el enclavamiento **e** es un contacto auxiliar correspondiente a otro contactor, el que deberá conectar con prioridad o puede éste no existir, según los casos; por último, otro enclavamiento es el **e. m.** o mecánico, de forma que el motor no funciona si no está cerrado, el cual puede colocarse en un punto clave que pare la máquina.

MANDO LOCAL Y A DISTANCIA DE UN MOTOR



EXTRACCION AUTOMATICA DE SILOS Y TOLVAS

En el ejercicio anterior se aplicó el funcionamiento de llenado de un depósito con materias, como son harinas, granos, áridos, etc., el cual se llenaba automáticamente; en el que nos ocupa ahora se trata de extraer estas materias, una vez lleno el depósito o tolva, y a través de una instalación de una rosca extractora sacar el producto con destino a molienda, mezcla, envasado o carga. Como en casi todas las instalaciones automatizadas se precisa la línea trifásica con interruptor general **Ig**, juego de fusibles **F**, contactor en este caso **CTA**, relé de sobreintensidad, motor reductor con su trasmisión de cadena y dos finales de carrera o, en este caso, dos membranas con sus micros correspondientes.

Veamos los elementos de que consta la parte mecánica: En primer lugar una rosca extractora para el vaciado de 20 m^3 en menos de media hora. Empleamos una rosca de 3 m 200 Ø mm, paso rosca 250 mm. La rosca irá a media capacidad del volumen de ella

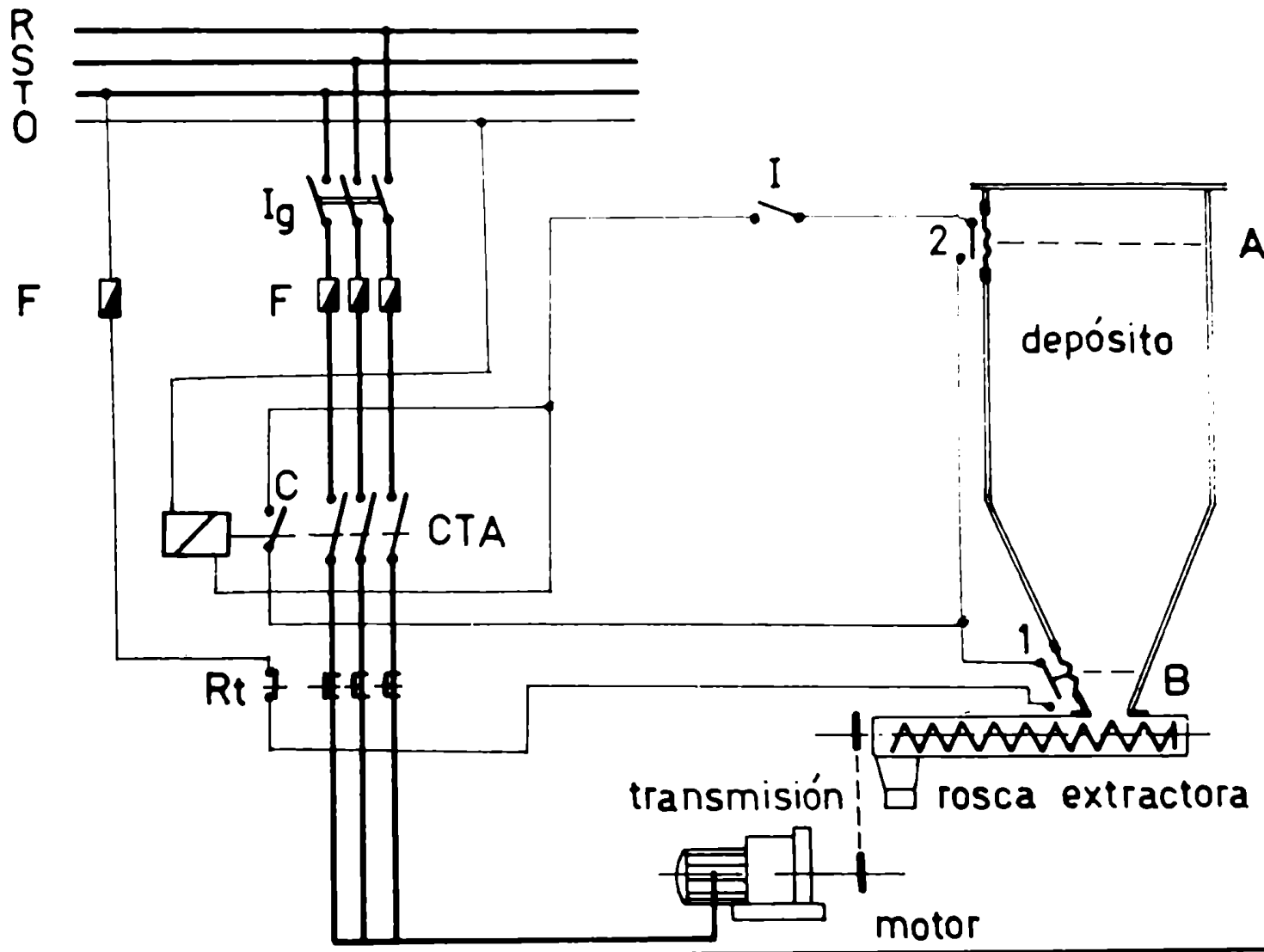
$$V = \frac{\pi R^2}{2} \times l = \frac{3{,}14 \times 0{,}2^2}{2} \times 3 = 0{,}188 \ m^3$$

si le damos una velocidad longitudinal de 0,25 m/seg, cada rosca se vaciará en $3 : 0{,}25 = 12$ segundos, y el depósito o silo será vaciado en

$$\frac{20}{0{,}188} \times 12 = 1.276 \ \text{seg} = 21 \ \text{minutos.}$$

La rosca lleva, como se dijo, una velocidad de 0,250 m/seg = 250 mm/seg, lo que le corresponde una vuelta por seg o 60 r.p.m. Esta será la velocidad del piñón conducido; la del conductor o salida del reductor la fijamos en 90 r.p.m., relación $\frac{90}{60} = 1{,}5$ con cadena doble de 5/8", así el motor reductor puede ser de 1.500/90 r.p.m. 3 CV a 220/380 V. En resumen, el depósito será vaciado en 21 minutos.

El funcionamiento es como sigue: Estando el depósito lleno, si cerramos el interruptor **I**, la corriente va de fase **T**, por relé **Rt**, membrana **1**, membrana **2**; ambas membranas están cerradas cuando el producto las cubre rebasando los niveles **B** y **A**, pasa por el interruptor **I**, bobinas y neutro; el motor se pone en marcha, el nivel **A** va descendiendo y el micro de la membrana **2** se abre; pero la bobina se mantiene por el contacto auxiliar de permanencia **C**; cuando el nivel desciende por debajo de **B** se abre el micro de la membrana **B** y el motor para. Al echar más producto y llenarse automáticamente, si el nivel alcanzó la línea **A** el motor se pone en marcha, pues los micros están cerrados; si no se desea descargar el depósito se abre el interruptor **I**.


R
S
T
O
Ig
I
F
F
2
A
depósito
C
CTA
1
B
Rt
transmisión
rosca extractora
motor

ESQUEMA DE UNA MAQUINA HERRAMIENTA

La utilización de los contactores para accionamiento por mandos a distancia es muy extensa en todo tipo de industria y en toda clase de maquinaria, tanto en motores individualmente como en combinaciones de varios motores instalados en una sóla máquina cada uno con distinta finalidad; tal es el caso representado en el esquema de este ejercicio, uno de tantos.

Esta máquina consta de tres motores de distinta potencia. El motor número **1**, que requiere, por su potencia, un arrancador a contactores estrella-triángulo (no se representa el circuito de mando, pues quedó explicado en otro capítulo); el motor número **2**, que precisa dos contactores para la inversión por tener que mover alguna plataforma en traslación de ida y vuelta, y el motor número **3**, que puede ser simplemente una bomba de refrigeración u otro mecanismo. Esta instalación puede aplicarse a grandes máquinas-herramientas u otras de fabricación, como, por ejemplo, en máquinas cortadoras de terrazo. Este esquema presenta algunas condiciones para su funcionamiento.

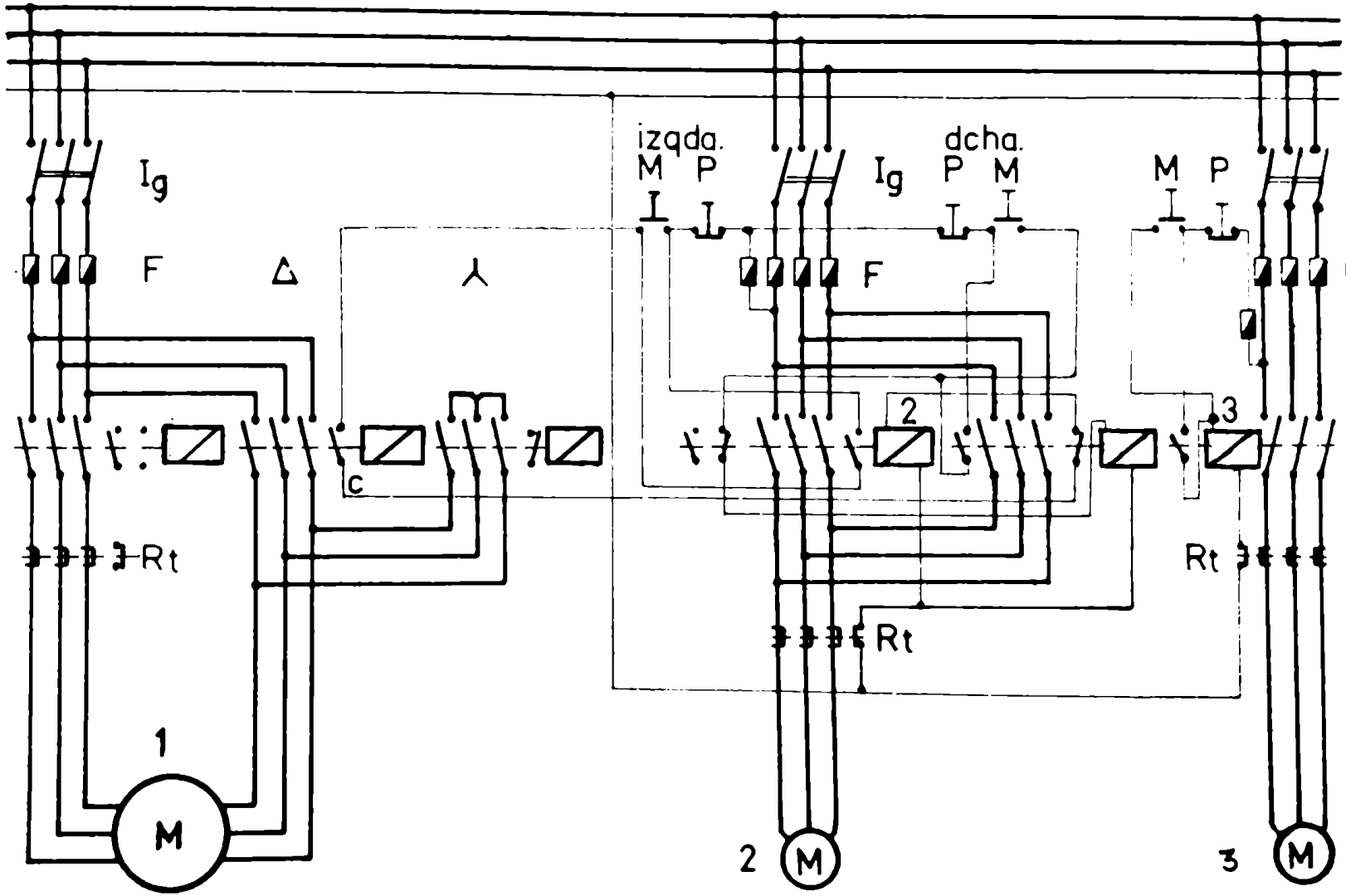
a) El motor número **3** es totalmente independiente de los otros dos; puede funcionar o dejar de hacerlo a voluntad del operario.

b) El motor número **2** no puede ponerse en marcha sin antes haber puesto el número **1**, ya que está enclavado por el contacto **c** del contactor en triángulo, lo que asegura la imposibilidad de su funcionamiento mientras que el motor **1** esté en período de arranque y cuando conecta el contactor triángulo entra **c** y ahora es cuando al pulsar la puesta en marcha del número **2** sí se pone en marcha, pero debe observarse que esto sólo ocurre para un sentido de su giro, el de izquierdas, puesto que el de derechas no tiene su puesta en marcha enclavada, ya que es independiente; así que la inversión es enclavada sólo en un sentido de rotación del motor, lo que equivale a un sentido de desplazamiento de la máquina; caso de desear enclavamiento total, el mando a derecha habría que pasarlo por el otro contacto disponible en el contactor triángulo o sacar el enclavamiento después del fusible de mando.

c) El motor número **2** puede pararse cuando se desee sin afectar al número **1**.

d) El motor número **2** se parará con su pulsador; pero siempre que se pare el número **1** parará el **2** también. Cada motor lleva su relé de protección y su juego de fusibles.

ESQUEMA DE UNA MAQUINA HERRAMIENTA



ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA FRESADORA

Otro esquema prácticamente útil es la aplicación de cuatro contactores para tres motores que necesita el funcionamiento de una máquina tan utilizada como es la fresadora. Esta se compone de tres motores, a saber: el número **1**, que es el que mueve la fresa o útil de cortar, tallar engranajes, etc.; el número **2**, es el que mueve la mesa en dos sentidos de marcha longitudinal y precisa dos contactores montados para la inversión, y el número **3**, que es la bomba de refrigeración de la temperatura alcanzada por el corte de la herramienta en la pieza a trabajar.

Condiciones para la instalación y funcionamiento:

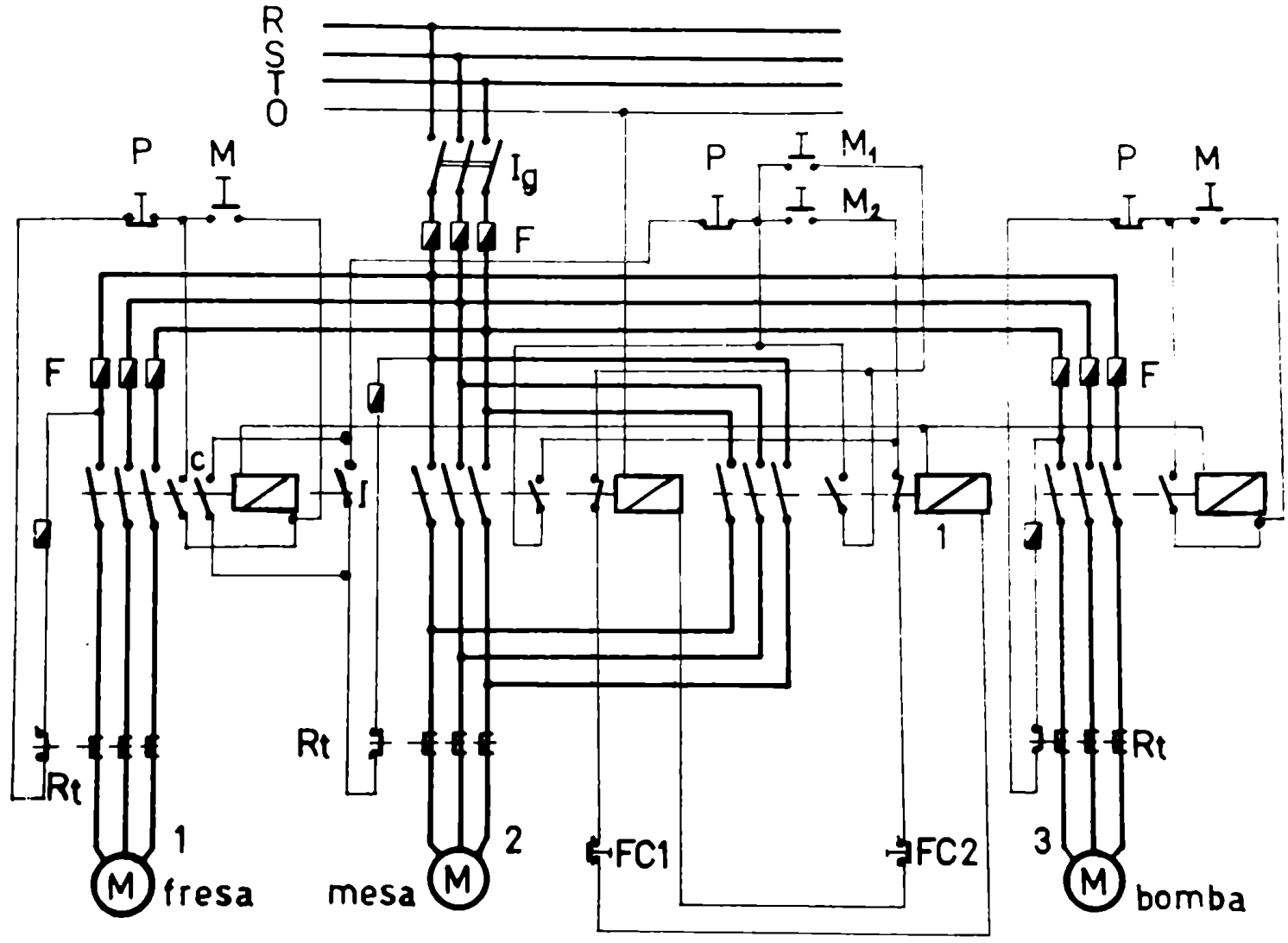
a) La puesta en marcha de la fresa o herramienta es independiente del resto de los mecanismos, pues podrá ponerse en marcha y pararse cuando se desee, ya que se compone de todo un circuito de mando completo y protección.

b) La mesa, como debe tener movimiento de traslación de ida y vuelta, en primer lugar precisa de los contactores de inversión, de un pulsador de paro y dos de marcha (uno q izquierdas y otro a derechas); como mecanismo de seguridad para el cambio de sentido de giro lleva dos finales de carrera, de forma que al terminar la mesa el recorrido se abre al final de carrera correspondiente, si antes el operario no paró para cambiar de sentido.

c) La mesa de la fresadora no puede ponerse en marcha sin antes estarlo el motor que mueve la fresa herramienta, por estar enclavados sus contactores en ambos sentidos con el contactor de la fresa mediante el contacto **c** de enclavamiento; por lo tanto, lo primero a realizar es poner en marcha la fresa y luego la mesa, ya que de esta forma se evita el avance de la mesa estando parada la fresa.

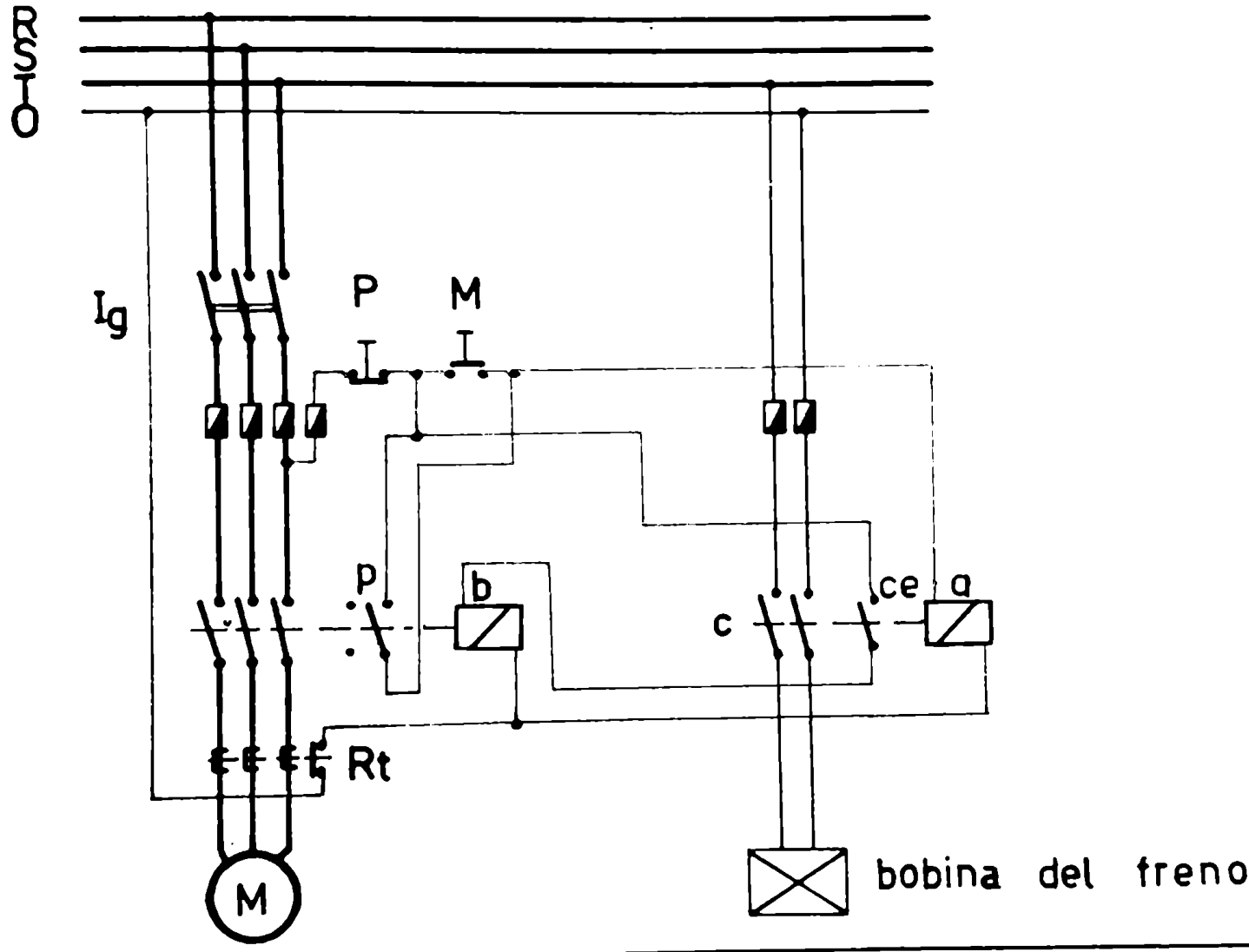
d) La bomba, motor número **3**, puede pararse y ponerse en marcha según necesidades de trabajo independientemente de cualquier otra maniobra de la máquina. Cada motor dispone de su juego de fusibles de protección contra cortocircuitos y su relé de protección contra sobrecargas, un fusible de mando y pulsadores de marcha y paro. En la red general se dispone de un interruptor general **Ig**, así como un juego de fusibles calibrados al conjunto de potencia instalada. El interruptor **I** no son contactos pertenecientes a ningún contactor, es simplemente un interruptor cuya misión es conectarlo a fresa parada para cuando es necesario mover la mesa por motivos de motor o desmontar las piezas a trabajar sin necesidad de conectar la fresa. Desde luego es conveniente no olvidarse de desconectarlo; si se desea puede prescindirse de él. Esta instalación es muy utilizada en muchas máquinas herramientas; el funcionamiento por puntos es similar a los esquemas explicados en otros ejercicios por separado.

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA FRESADORA



FRENO ELECTRICO

Muchas máquinas montadas en la industria, accionadas por motores eléctricos, requieren que su parada sea instantánea, es decir, no debe seguir girando en absoluto, tal como ocurre en los montacargas, ascensores, polipastos, cabrestantes, cosedoras automáticas, etc.
Hay varias clases de frenado: por aire comprimido, por palanca, por pedal, hidráulico, electromagnético. En este frenado interviene la energía eléctrica. La corriente se le hace circular por un bobinado que forma un electroimán, en el que crea un campo magnético y este campo invade las líneas de fuerza alrededor, atrayendo cualquier material ferromagnético hacia las piezas polares del electroimán. El freno electromagnético puede disponerse en forma de un disco, el que gira solidario al eje de la máquina a frenar; unas décimas separado a este disco van colocadas las piezas polares del electroimán, para cuando éste sea excitado (cosa que se realiza instantáneamente) y, produciendo el campo magnético, sea atraído el disco contra las piezas polares, inmovilizando el eje o máquina.
Puede disponerse —como en los ascensores y montacargas— unas zapatas que se adhieran a la periferia del volante mediante unos ferodos de fricción. Cuando la bobina del electroimán es excitada, con su fuerza atractiva baja una palanca, para mover las zapatas. En este ejercicio tratamos del freno, pero puede aplicarse también como embrague electromagnético, es decir, lo contrario del frenado para arrastrar un eje o elemento y gire al embragarlo por excitación de la bobina.
En el esquema disponemos de un motor y un freno; en posición de reposo, el motor está parado y el freno inmoviliza la máquina en cuestión; para mover la máquina lo primero que se precisa es que el freno libere a ésta para poder moverla, lo que se realiza al pulsar la puesta en marcha **M**; en efecto, se pulsa el botón **M** y el primer circuito que se cierra es el del freno para separar las zapatas o disco, según el caso; la corriente llega de la fase **T**, fusible de mando, pulsadores **P** y **M**, bobinas del contactor del freno **a**, relé **Rt** y neutro; la bobina cerró los contactos **c** y el freno se separa; a su vez entra el contacto **ce** de enclavamiento del contactor del motor **M** y éste se pone en marcha, moviendo la máquina; el mantenimiento del freno separado lo realiza el contacto de permanencia **p** en el otro contactor. Si el motor para o se le para al pulsar en **P**, la bobina deja de actuar y el freno cae, frenando la máquina; caso de que sea la bobina **(a)** la que abra por avería, el freno actuaría, pero instantáneamente abre el contacto **ce** parando el motor.


R
S
T
O
Ig
P
M
p
b
c
ce
a
Rt
M
bobina del freno

SIGNIFICADO DE LETRAS Y SIMBOLOS EMPLEADOS

B bobina de contactor
b_1 pulsador de puesta en marcha
b_0 pulsador de paro
c contacto auxiliar
c contacto de seguridad
C condensador
cd contacto auxiliar enclavamiento derecha
ci contacto auxiliar enclavamiento izquierda
cm contacto de mercurio
c_1, c_2, c_3 contactores
$c0_1$, $c0_2$ batería condensadores
D pulsador giro a derechas
d contactor giro a derechas
d_1 relé temporizador
E electroimán
em enclavamiento mecánico
e_1 fusible
e_2, e_3, e_4 relés térmicos
F fusibles
FM fusible de mando
FC_1, FC_2 finales de carrera
FCD final carrera giro a derecha
FCI final carrera giro a izquierda
h_0, h_1, h_2 pilotos de señalización
I interruptor
Ig interruptor general
Ia intensidad de arranque
In intensidad nominal
I pulsador giro a izquierda
i contactor giro a izquierda
l lámparas
LD piloto señalización giro a derecha
LI piloto señalización giro a izquierda
LR piloto señalización relé térmico
Le pulsador marcha lenta
M pulsador puesta en marcha
M motor
Md pulsador marcha a derecha
Mi pulsador marcha a izquierda
MD mando a distancia
ML mando local
ML pulsador marcha lenta
MR pulsador marcha rápida
m motor
m motor sincrónico
0 neutro
P pulsador de paro
Pd pulsador paro derecha
Pi pulsador paro izquierda
Pc pulsador cerrar
Pa pulsador abrir
p piloto señalización
R hilo de fase
Rt relé térmico
RMT relé magnetotérmico
RST sentido de fases
RT relé temporizador
RA resistencia arranque
Ra resistencia arranque reostato
RTV relés de aceleración
Ra pulsador marcha rápida
r resistencia limitadora
S hilo de fase
T hilo de fase
TM relé temporizador motorizado
Tri transformador de intensidad
TrV transformador de tensión
U fase conexión motor
UVW entradas bobinados
V fase conexión motor
W fase conexión motor.
XYZ salidas bobinados
ZT temporizador
Δ conexión en triángulo
⅄ conexión en estrella